

**VERBESSERUNG DER
MAMMOGRAPHISCHEN DIAGNOSTIK DURCH
ERHÖHUNG DES DETAILKONTRASTES**

Manfred Wild

1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie der
Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. J. Lissner

VERBESSERUNG DER MAMMOGRAPHISCHEN DIAGNOSTIK DURCH
ERHÖHUNG DES DETAILKONTRASTES

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Manfred Wild

aus

Bad Tölz

1974



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lissner

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 25.6.1974

Die Abbildungen in dieser Arbeit wurden aus Kostengründen
nicht reproduziert.

Sie sind im Original -hinterlegt in der Klinik und Poliklinik
für Radiologie der Universität München- einzusehen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1
2, <u>Allgemeiner Teil</u>	2
3. <u>Überblick über die wichtigsten Verfahren zur Detailkontrastanhebung von Röntgenbildern</u>	8
3.1. Photographisches Kopieren mit der unscharfen Maske	8
3.2. Die Logetronographie	9
3.3. Das Fluorododge-Kontaktverfahren	12
3.4. Die Xeroradiographie	13
3.5. Die fernsehelektronische Erhöhung des Detailkontrastes	16
4. <u>Vorteile und Nachteile der fernsehelektro-nischen Kontrastanhebung</u> Aufgezeigt an ausgewählten Beispielen	26
5. <u>Vergleichende Untersuchungen der Xero-radiographie und der elektronischen Kon-trastanhebung an Hand von Fallbeispielen</u>	48
6. <u>Diskussion der Untersuchungsergebnisse</u>	57
6.1. Vorteile der elektronischen Kontrastanheb.	58
6.1.1. Überschaubarkeit und Strukturanhebung	58
6.1.2. Abgrenzung flächiger Verschattungen	59
6.1.3. Vergrößerung von Mikrokalzifikationen	59

6.1.4.	Pseudoräumlichkeit	60
6.1.5.	Variation d, Grades d. Kontrastverstärkung	60
6.1.6.	Detailvergrößerung mit der Zoomoptik	61
6.1.7.	Positiv-Negativ Darstellung	61
6.1.8.	Vorteile für die Didaktik	62
6.2.	Nachteile der elektronischen Kontrast- anhebung	63
6.2.1.	Überstrahlung bei Kalkeinlagerungen und Kontrastmittelfüllungen	63
6.2.2.	Unzureichende Darstellung des Dichtezu- standes des Drüsenkörpers	63
6.2.3.	Geringe Automatisierung des Verfahrens	64
6.3.	<u>Vergleich der elektronischen Detailkon- trastanhebung mit der Xeroradiographie</u>	65
6.3.1.	Vorteile der Xeroradiographie gegenüber der elektronischen Kontrastanhebung	65
6.3.1.1.	Erweiterung des diagnostischen Bereiches	65
6.3.1.2.	Weitgehende Automatisierung des Verfahrens	65
6.3.1.3.	Auflichtbilder	66
6.3.1.4.	Geringere Strahlenbelastung	66
6.3.2.	Nachteile der Xeroradiographie	66
6.3.2.1.	Starke Kantenanhebung	66
6.3.2.2.	Fixierter Harmonisierungsgrad	67
6.3.2.3.	Kleiner Belichtungsspielraum	67
6.3.2.4.	Keine Vergleichsmöglichkeit mit dem Film- mammogramm	68
7.	<u>Zusammenfassung</u>	69
8.	<u>Literaturverzeichnis</u>	72

1. Einleitung

Um auf Dauer einen therapeutischen Erfolg beim Mammacarcinom zu erzielen, ist es eine vordringliche Aufgabe der Medizin, das Carcinom im Frühstadium zu erfassen. Eine geeignete diagnostische Methode zur Früherkennung des Mammacarcinoms ist die Mammographie.

Die Mammographie ist ein Röntgenbild, auf dem nur Weichteile dargestellt sind. Der Kontrastumfang ist relativ gering. Es bestehen eine Reihe von Verfahren, die diesen Nachteil durch eine Bildbeeinflussung aufzuheben versuchen. Die Anwendung dieser Verfahren ist für eine Routineuntersuchung wegen des Zeitaufwandes nicht geeignet. Eine neuere Untersuchungsmethode auf fernsehelektronischer Basis erlaubt eine Routineanwendung.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, ein Urteil darüber abzugeben, ob eine Manipulation des Bildcharakters auf fernsehelektronischem Wege mit einer Erhöhung des Detailkontrastes einen Vorteil für die Beurteilung der Mammogramme ergibt.

2. Allgemeiner Teil

Die Prognose des Mammacarzinoms läßt sich nur durch Früherkennung verbessern. Die Variationen der jetzigen therapeutischen Möglichkeiten haben wenig Einfluß auf die Überlebensrate, weil es sich beim größten Teil der operablen Mammacarzinome bereits um eine generalisierte Erkrankung handelt. So beträgt die Heilungsrate beim Mammacarzinom auf lange Sicht gesehen insgesamt wahrscheinlich nur 20 - 30% (1). Daß die Früherkennung des Mammacarzinoms verbessert werden muß, ergibt sich aus der Zunahme des Mammacarzinoms in allen industrialisierten Ländern. So ist das Mammacarzinom bei der weißen, weiblichen Bevölkerung der USA für die Altersgruppen von 40 bis 50 Jahren die häufigste Todesursache. Eine Zunahme ist auch in der BRD zu erkennen, wie die Zahlen des Hamburger Statistischen Landesamtes zeigen (Abb.1). Während 1957 das Kollumcarzinom an der Spitze der Krebserkrankungen stand, ist seit 1961 das Mammacarzinom das häufigste Carzinom der Frau. Bemerkenswert ist, daß sich der prozentuale Anstieg überwiegend auf die jüngeren Altersgruppen von 30 bis 50 Jahren verteilt (auch in den USA so beobachtet), was sich möglicherweise durch die Verbesserung der Frühdiagnostik auf Grund der Aufklärung der Bevölkerung erklären ließe. Da im Moment eine systematische Durchuntersuchung der gesamten weiblichen Bevölkerung, die natürlich auch die Mammographie einschließen müßte, noch illusorisch ist, bleiben nur Kompromißlösungen. In diesem Zusammenhang ist auch weiterhin die Selbstkontrolle zu propagieren. Bisher wurden mehr als 90%

der Mammacarzinome von der Patientin selbst entdeckt (1).

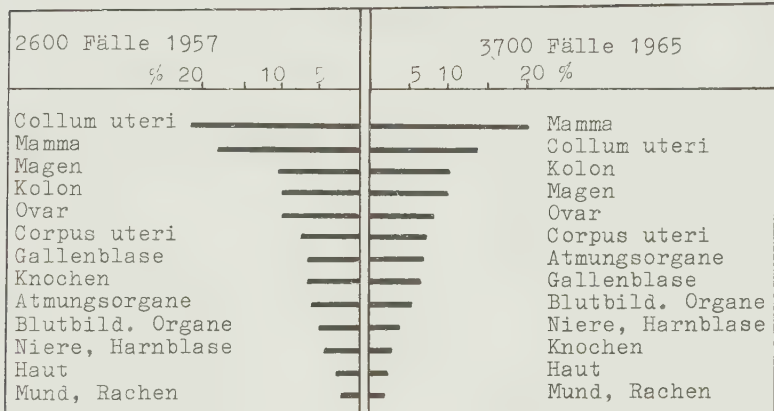


Abb. 1: Krebshäufigkeit bei Frauen in Hamburg, nach Organen gegliedert.

Angaben des Statistischen Landesamtes Hamburg

Die Krebsvorsorgeuntersuchungen geben jetzt die Möglichkeit, Patienten, die einer Gruppe mit erhöhtem Risiko angehören, systematischer zu untersuchen.

Solche Gruppen sind:

Ledige und verheiratete Frauen ohne Kinder; Frauen, die nicht oder nur sehr kurzfristig gestillt haben; adipöse Frauen, besonders in der Postmenopause; Patientinnen mit einer Mastopathie oder anderen gutartigen Erkrankungen; alle Frauen, die Ovulationshemmer oder Östrogene einnehmen; Frauen mit einem behandelten Mammacarzinom (die Häufigkeit des Doppel-

carzinoms beträgt bis 15%)(2); Frauen mit einer belastenden Familienanamnese.

Die Initialsymptome des Mammacarcinoms variieren:

Symptom	Anzahl der Fälle	Prozente
schmerzloser Tumor	515	66
schmerzhafter Tumor	87	11
patholog. Sekretion	69	9
lokales Ödem	31	4
Verziehung der Mamille	27	3
Ekzem der Mamille	15	2
lokales Erythem	7	1
Schwellung der Brust	6	1
Mammaabszeß	5	1
vergröß. Axillarlymphknoten	2	
Ulkus	2	
Brustschmerzen	1	
Armschwellung	1	
alleinige Einziehung der Haut	1	

Tab. 1: Initialsymptome des Mammacarcinoms
(nach Spratt und Donagan)

Bei weitem am häufigsten wird das Mammacarcinom durch das Auftreten eines schmerzlosen Tumors manifest. Hier, wie auch für die anderen Initialsymptome ist die Inspektion und Palpation die wichtigste und einfachste Untersuchung.

Es ist jedoch zu bedenken, daß bei klinisch manifesten

Tumoren bereits in über 60% der Fälle mit axillären Lymphknotenmetastasen gerechnet werden muß (3). In den USA durchgeführte Screening-Untersuchungen haben bestätigt, daß die Kombination von Inspektion, Palpation und Mammographie, sowie in speziellen Fällen zusätzlich die Galaktographie, die besten Resultate bringt. Besonders hervorgehoben werden muß aber dabei, daß etwa ein Drittel der Carzinome allein durch die Mammographie entdeckt wurden (1). Bei allen Erfolgen der Mammographie sollten jedoch stets deren Grenzen im Auge behalten werden. Kaufmann (4) hat bei seinen Untersuchungen gezeigt, daß bei seinen Fällen, in der Gruppe der histologisch gesicherten Carzinome, mammographisch 5% falsch negativ und in der Gruppe der histologisch benignen Fälle mammographisch 3% falsch positiv beurteilt waren.

Histolog. Befund	Mammographischer Befund	
Carzinom in 36% der Probeexzisionen	Carzinom	71%
	falsch negativ	5%
	kontrollbedürftig	4%
	suspekt	13%
	nicht sicher zu beurteilen	7%
benigne in 64% der Probeexzisionen	benigne	51%
	falsch positiv	3%
	kontrollbedürftig	25%
	suspekt	21%

Tab.2: Kontrolle der Mammographie durch die histologischen Befunde (nach Kaufmann)

Deshalb muß in Verdachtsfällen nach wie vor auch bei negativem Mammographiebefund eine histologische Abklärung erfolgen. Generell sollte jeder plötzlich entdeckte, isoliert auftretende Knoten exzidiert werden. Es ist im allgemeinen nicht zu vertreten, einen solchen Befund weiter zu beobachten und nach einem möglicherweise feststellbaren Wachstum die histologische Abklärung durchzuführen.

Schwierig ist die Beurteilung von Patientinnen, bei denen ständig in einer mastopathisch veränderten Brust Knotenbildungen auftreten, zumal wenn schon mehrfach exzidiert wurde. Auch hier kann die Mammographie weiterhelfen.

Die technische Weiterentwicklung der Mammographen und Mammographiefilme in der letzten Zeit ermöglichte große Fortschritte; die Mammographien enthalten eine enorme Informationsfülle. Das Problem liegt in der Beurteilung. Es werden sehr große Anforderungen an die Fähigkeiten und die Erfahrung des Betrachters gestellt, da die Informationen zwar sehr reichhaltig, jedoch auch verwirrend sind, denn der Kontrast kann insgesamt sehr gering sein und feine Details werden vielfach von großflächigen Strukturen überlagert. Dabei liegen die informationswichtigen Bildanteile meist in den kleinen Details des Bildes, während die groben Details des Bildes oft nur geringe Hinweise auf die Art der Veränderung zu geben vermögen. Wenn man daher das Röntgenbild in einer willkürlich modifizierten Darstellungsart betrachten könnte, bei der die großflächigen Details unterdrückt und die wichtigen feinen Details hervorgehoben werden, sollte die Diagnose sicherer, bereits bei geringfügigeren Veränderungen und schneller gestellt werden können. Eine solche

Möglichkeit wäre ein großer Fortschritt für die Früherkennung des Mammacarzinoms; dies äußert sich im Bestreben der Radiologen ein technisches Verfahren zur Detailverdeutlichung von Röntgenbildern zu entwickeln.

3. Überblick über die wichtigsten Verfahren zur Detailkontrastanhebung von Röntgenbildern

3.1. Photographisches Kopieren mit der unscharfen Maske

Bereits 1930 wurde von Spiegler und Kalman (5) das Verfahren des photographischen Kopierens mit der unscharfen Maske zur Detailkontrastanhebung vorgeschlagen. Dabei wird von einer normalen Aufnahme eine unscharfe Kopie hergestellt und die Originalaufnahme mit der unscharfen Maske kopiert. Das entstandene Bild entspricht einer Normalaufnahme, von welcher die großflächigen Kontraste subtrahiert wurden und nur die feinen Strukturen übriggeblieben sind, denn nur die unscharfe Positivmaske wirkt lichtsteuernd für das Kopierlicht. Die Wirkungsweise dieses Verfahrens ist aus Abb. 2 ersichtlich (6).

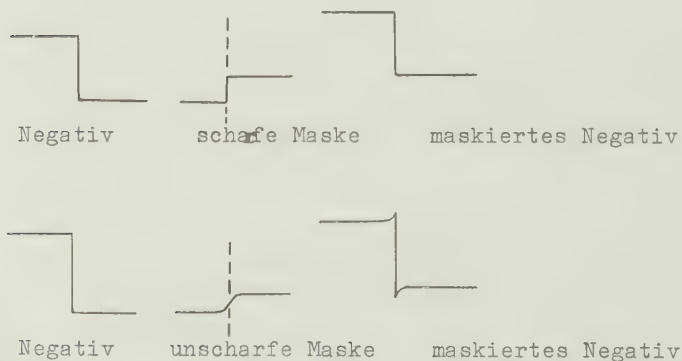


Abb. 2: Schematische Darstellung der Wirkung einer scharfen und einer unscharfen Maske

Addiert man nun zu den Dichtewerten der scharfen Kontur des Originalnegatives die Dichtewerte der unscharfen Kopie, so zeigt sich, daß der Kontrast der Grenzlinie (der Detailkontrast) erhalten bleibt, während die, der Kontur benachbarten Flächen mit geringerem Kontrast wiedergegeben werden. Der Grad, in dem die Grobkontraste verringert werden, hängt von der Gradation der unscharfen Maske ab, kann also nach Wunsch beeinflusst werden. Durch diese Maßnahme wird dafür gesorgt, daß die Grobkontraste des Bildes, d.h. die relativ starken Kontraste großflächiger Bildbereiche, verringert und nur die feinen Detailkontraste erhöht werden. Für solche Verfahren hat sich deshalb auch der Begriff "Kontrastharmonisierung" oder kurz "Harmonisierung" eingeführt. Wenn auch das photographische Verfahren mit der unscharfen Maske keine weite Verbreitung gefunden hat, so ist doch die prinzipielle Idee von Spiegler die Grundlage aller neuzeitlichen Methoden der Detailkontrastanhebung geworden.

3.2. Die Logetronographie

Das Logetronic wurde ursprünglich für die Verbesserung von Luftaufnahmen durch Craig entwickelt (7). In die Röntgenologie haben Craig, Jutras und Fischgold das Verfahren eingeführt (8). Die Arbeitsweise des Logetronic geht aus dem Schaltbild Abb.3 hervor (9).

Durch eine Kathodenstrahlröhre erzeugte Elektronen treffen auf einen Fluoreszenzschirm. Der dabei entstehende Lichtfleck dient als Lichtquelle beim Kopiervorgang. Durch Kippgeneratoren wird der Kathodenstrahl und damit

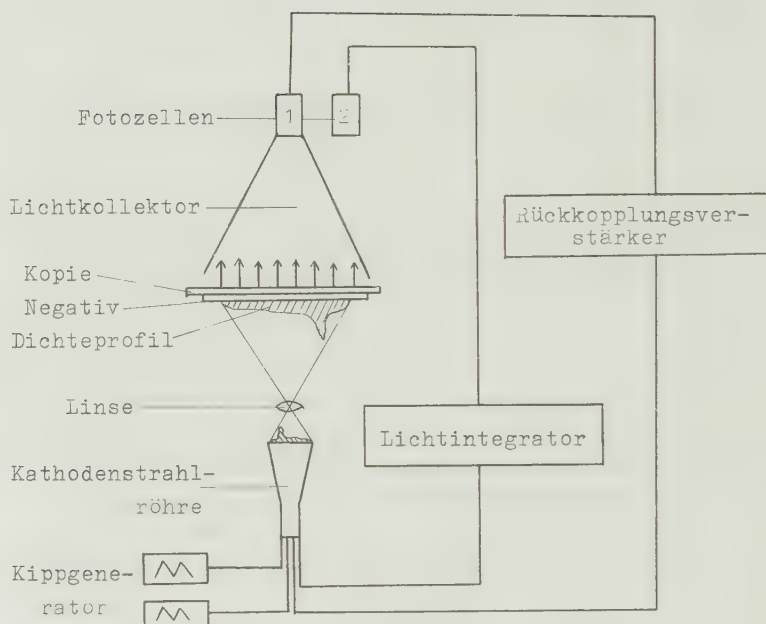


Abb.3: Schaltungsprinzip des Logetronic (9)

der Lichtfleck so abgelenkt, daß er ein Viereck wählbarer Größe überstreicht. Der Lichtfleck wird mit Hilfe eines Linsensystems durch den Originalfilm hindurch auf das unmittelbar darüber liegende Kopiermaterial projiziert. Die Photozelle 1, die über dem Originalfilm und dem Kopiermaterial angeordnet ist, reguliert verzögerungsfrei die Helligkeit des Lichtfleckes über einen einstellbaren Verstärker. Die Regulierung geschieht so, daß

durch eine schnelle Gegenkoppelung der Lichtfleck augenblicklich an Intensität zunimmt, wenn eine dichte Region der Originalaufnahme abgetastet wird und analog umgekehrt bei hellen Regionen. Dadurch entsteht auf dem Fluoreszenzschirm ein umgekehrtes, unscharfes Bild des Originals, das durch das Linsensystem durch das Original hindurch auf das Kopiermaterial projiziert wird.

Eine zweite Photozelle (Photozelle 2) steuert die Belichtung, das heißt die mittlere Schwärzung der Kopie. Sie wird auf den interessierenden Teil des Originals eingerichtet. Sie integriert das auftreffende Licht und beendet über einen elektronischen Schalter die Belichtung, sobald der eingestellte Belichtungsindex erreicht ist. Dieser Belichtungsindex ist von der Empfindlichkeit des Kopiermaterials abhängig. Der Umfang des Grobkontrastausgleiches läßt sich durch Variation der Grösse des Kopierlichtfleckes und durch die Stärke der Gegenkopplung beeinflussen.

Durch die Logetronographie wird der Grob- oder Gesamtkontrast vermindert und dadurch der Detailkontrast erhöht. Bestimmte Detailkontraste, die für die Beurteilung von Röntgenaufnahmen wesentlich sind, liegen bei normaler Betrachtung in Gebieten mit sehr geringen oder sehr großen Schwärzungen, wo sie vom Auge nicht mehr erkannt werden. Durch Senkung des Grobkontrastes werden diese, normalerweise nicht mehr differenzierbaren, Details in Gebiete mittlerer Schwärzung gerückt, wo sie bequem erkannt werden können. Auf diese Weise ergibt sich eine Erweiterung des Umfanges der Detailerkennbarkeit.

3.3. Das Fluorododge-Kontaktverfahren

Wie auch das Logetronic wurde das Fluorododge Verfahren (10) ursprünglich für die Verbesserung von Luftaufnahmen entwickelt.

Grundlage des Verfahrens ist die Tatsache, daß das, von einem durch UV Licht angeregten Fluoreszenzschirm ausgehende Licht sich durch infrarotes Licht auslöschen läßt. Die Auslöschung steht dabei in direktem Verhältnis zur Intensität des infraroten Lichtes. Das Prinzip geht aus der schematischen Abb.4 hervor.

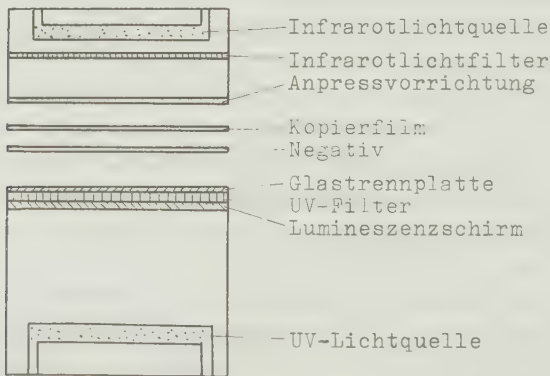


Abb.4: Prinzip des Fluorododgeverfahrens (11)

Als Kopierlichtquelle dient der durch UV-Licht angeregte Fluoreszenzschirm. Von einer Infrarotlichtquelle

Fällt Licht durch das Kopiermaterial und das zu kopierende Negativ auf den Fluoreszenzschirm. Dabei wird dieses Infrarotlicht und damit auch der als Kopierlichtquelle dienende Fluoreszenzschirm entsprechend der Schwärzung des Negativs in seiner Helligkeit moduliert. An stark geschwärzten Stellen des Negativs wird das Infrarotlicht stark abgeschwächt, die Fluoreszenzauslöschung ist gering, das Kopierlicht intensiv. An wenig geschwärzten Stellen wird dagegen das Fluoreszenzlicht stark gedämpft, d.h. diese Stellen des Negativs werden mit geringerer Helligkeit kopiert. Die Kopierlichtquelle wirkt als Lichtmaske. Die Glastrennplatte zwischen dem Fluoreszenzschirm und dem Negativ bewirkt durch die Divergenz des Lichtstrahles die Unschärfe der Maske. Im Gegensatz zum Logetronic, wo das Negativ Punkt für Punkt abgetastet wird, werden beim Fluorododgeverfahren die verschiedenen Gradationen, für die das menschliche Auge nicht mehr empfindlich ist, gleichzeitig erfaßt, auf dem Leuchtschirm dargestellt und das kontrastharmonisierte Bild auf die Kopie übertragen.

3.4. Die Xeroradiographie

Bei der Xeroradiographie wird ein physikalisch-elektrischer Prozeß zur Herstellung detailverdeutlicher Bilder genützt. Das Verfahren wurde 1937 von Chester Carlson entdeckt und von Schaffert, Mc Master und Bixby in der Radiologie eingeführt. Wolfe hat die Methode, zusammen mit der Xerox Company, soweit verbessert, daß heute die Xeroradiographie als eine weitere röntgenologische Untersuchungsmethode angesehen werden kann. Das Verfahren beruht auf folgenden Grundlagen:

Eine mit dem Halbleiter Selen beschichtete Aluminiumplatte wird durch eine Coronaentladung elektrisch aufgeladen. Die Entladung des Halbleiters erfolgt durch Röntgenstrahlung, die entsprechend der unterschiedlichen Dichte des zu prüfenden Strahlenobjektes ein dem Strahlenrelief entsprechendes, elektrostatisches Ladungsmuster auf der Oberfläche der Selenplatte hervorruft. Dieses Strahlenrelief entspricht dem latenten Bild des Röntgenfilms. Nun wird mechanisch ein elektrisch positiv oder negativ geladenes Pulver (Toner) an die Selenplatte verstäubt. Hierbei kommt es infolge der gegenseitigen elektrischen Anziehung zu einer Pulverbeschichtung der Platte, wobei die Menge des niedergeschlagenen Pulvers von der Stärke der Ladung an der betreffenden Stelle abhängt. Dabei tritt ein besonderer Randeffekt auf: An den Grenzen hoher zu niedriger Spannung wird das Pulver von der niedrigen Spannungszone weg zu der hohen Spannung gezogen. Dadurch werden hohe Spannungsareale, d.h. Bezirke, die weniger Röntgenstrahlen absorbiert haben als die Nachbargebiete, deutlicher dargestellt.



Abb.5: Schematische Darstellung des Randeffektes

Dieses, mit dem Toner beschichtete Bild wird auf eine

elektrisch positiv geladene Kunststoffpapierfolie aufgelegt, angepreßt und erhitzt. Dabei wandert das Pulver in die Folie. Die Folie erscheint als fertiges Papier Radiogramm und entspricht einem photographischen Positiv im Gegensatz zu den negativen Röntgenfilmen. Das gesamte Verfahren ist ein Trockenverfahren und benötigt keine Dunkelkammervorrichtungen. Es ist schnell, denn die Xeroradiographie ist innerhalb von zwei Minuten verfügbar. Die Bestrahlungsmenge des Patienten ist niedriger im Vergleich zur Filmmammographie. Als wichtigsten Vorteil hat Wolfe das große Auflösungsvermögen der Xeroradiographie gegenüber der konventionellen Filmmethode genannt (12). Fishedick (13) bestätigte den Vorteil des größeren Kontrastumfanges bzw. des Maximalkontrastes, der Darstellbarkeit kleinerer Verdichtungen, insbesondere winziger Verkalkungen. Auch scheint es günstig zu sein, daß man neben einer guten Darstellung der Haut den gesamten Brustdrüsenkörper mit den Achsellymphknoten auf einem Bild beurteilen kann. Nachteile der Xeroradiographie sind in dem kleinen Belichtungsspielraum zu sehen, der daraus resultiert, daß nur im niedrigen KV-Bereich der Effekt der Randkonturverschärfung voll ausgenutzt werden kann. Ebenso bringt die Xeroradiographie bei der Kontrastmitteldarstellung der Milchgänge vorerst keine guten Ergebnisse. Die große Dichte des Kontrastmittels bedingt durch den starken Randeffect einen Informationsverlust der den Milchgängen benachbarten Gewebsstrukturen: Die Ladungsunterschiede auf der Selenplatte werden zu groß. Wolfe (12) glaubt, daß die Xeroradiographie die Filmmammographie in der Mammadiagnostik ersetzen kann. Fishedick (13) entnimmt demgegenüber seinen vergleichenden

den Untersuchungen, daß das schlechte Abschneiden der Filmmammographie gegenüber der Xeroradiographie in den Vereinigten Staaten eher auf den niedrigen Standard der Röntgeninstitute zurückzuführen ist. Er hält die Xeroradiographie, unbestritten ihrer Vorteile, nicht für so viel besser, daß sie die, mit Spezialgeräten durchgeführte, Filmmammographie verdrängen könnte.

Gerade die mit den speziell entwickelten Röntgengeräten angefertigten Mammographien regten auf Grund ihrer ausgezeichneten Qualität und Informationsfülle die Techniker an, Verfahren zu entwickeln, mit denen man die Bilder beliebig manipulieren kann, um zu einer schnelleren und sicheren Informationsentnahme zu gelangen. Fuchs und Messerschmid (14,15) veröffentlichten erstmals ein rein elektronisches Verfahren des Röntgenfernsehens, das mit Ultraschallverzögerungsgliedern arbeitete. Bischoff und Schott beschrieben 1957 eine elektronische Kontrastverstärkungsanlage (16). Im Jahre 1959 wurde das Ampliskop vorgestellt, das später Zieler und Westerkowsky ausführlich beschrieben (17).

J. Haendle (18) entwickelte 1963 eine Röntgenfernseheinrichtung mit einer Vorrichtung zur Verstärkung der Feinkontraste von Durchleuchtungsbildern mit fernsehtechnischen Mitteln. Dieses Verfahren soll im weiteren beschrieben und seine Möglichkeiten abgegrenzt werden.

3.5. Die fernsehelektronische Erhöhung des Detailkontrastes

Die Bildveränderung wurde auf fernsehelektronischem Wege realisiert. Sie gibt dem Bildbetrachter die Mög-

lichkeit das Bild unter Sichtkontrolle einfach und beliebig zu manipulieren, wobei das veränderte Bild jederzeit mit dem ursprünglichen, unbeeinflussten Bild verglichen werden kann und muß, um den Wert der Bildbeeinflussung richtig zu beurteilen. Diese Informationsaufbereitung, die aus der großen Menge an Informationen, die das Röntgenbild bietet, diejenigen herausholt, die zur Stellung der Diagnose wichtig sind, bringt jedoch für den Radiologen die Schwierigkeit mit sich, daß für die veränderten Bilder keine Vergleichsbilder aus seinem jahrelangen Erfahrungsschatz vorhanden sind. Jedoch dürften sich für Mammographieaufnahmen keine so großen Umastellungsschwierigkeiten ergeben, als für andere Röntgenbilder, weil wegen der Vielfalt der Strukturen im Mammographiebild keine so ausgeprägt im Gedächtnis gespeicherte, anatomische Morphologie vorhanden ist, die als Vergleichsnorm herangezogen werden könnte. (19)

Das hier behandelte Verfahren ergibt eine ähnliche Bildcharakteristik wie die Xeroradiographie, weil es bei beiden Verfahren - wie auch bei der Logetronographie oder dem Kopieren mit der unscharfen Maske - zur betonten Darstellung des zweiten Differentialquotienten kommt. Die Xeroradiographie liefert zwar schon im Entstehen das beeinflusste Bild, jedoch hat die fernsehelektronische Bildbeeinflussung, wie erwähnt, auch die Möglichkeit, gleichzeitig das unveränderte Bild zu betrachten, wodurch z.B. der Drüsenkörper besser beurteilt werden kann. Das Prinzip der fernsehelektronischen Detailverdeutlichung zeigt Abb.6. Das Mammographiebild wird auf einem Leuchtkasten durchstrahlt, wobei es direkt betrachtet werden kann und von einer Fernsehkamera aufgenommen wird, um

die elektronische Manipulierung des Bildes vornehmen zu können.

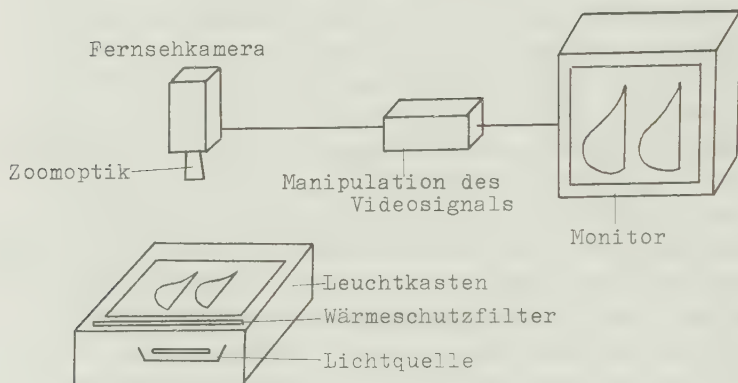


Abb.6: Prinzip der elektronischen Detailverdeutlichung

Damit die Mammographie mittels Fernsehtechnik gut übertragen werden kann, muß die Leuchtdichte des Betrachtungstisches so hoch sein, daß genügend Licht durch den Mammographiefilm dringt, um die darüber angeordnete Fernsehkamera richtig auszusteuern. Da Mammographiefilme Schwärzungen bis zu dem Wert 3 aufweisen können, muß die Leuchtdichte des Betrachtungstisches bei einer maximalen Öffnung des Fernsehobjektives von 1:2,8 noch über ca 35000 cd/m^2 liegen. Weil diese hohe Leuchtdichte mit einer relativ starken Wärmestrahlung verbunden ist, schützt den gegen Erwärmung empfindlichen Mammographiefilm ein spezielles Wärmefilter, das zwischen Licht-

quelle und Röntgenfilm eingesetzt ist. Die gleichmäßig beleuchtete Fläche sollte so groß sein, daß von der Fernsehkamera bei kleinster Brennweite des Zoomobjektives zwei neben einander liegende Rechts-Links-Mammographien aufgenommen werden können.

Die fernsehelektronische Anhebung des Detailkontrastes erfolgt mit Hilfe einer Zusatzelektronik, die als wesentlichstes Bauelement einen Vidikonspeicher enthält (18,20,21,22).

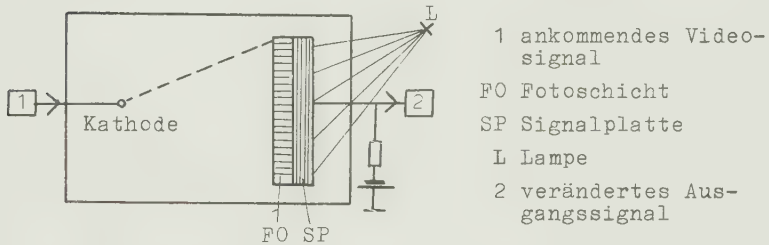


Abb.7: Prinzip des Vidikonspeichers

Der Vidikonspeicher enthält eine normale Fernsehröhre vom Vidikontyp, die in ungewöhnlicher Weise betrieben wird. Das Vidikon dient dabei nicht mehr zur Bildaufnahme. Das Videosignal der Kamera moduliert das Kathodenpotential der Röhre. Der Kathodenstrahl zeichnet nun selbst ein Ladungsbild auf die freie Oberfläche der Fotoschicht, die er normalerweise abtastet. Durch Defokussierung des Kathodenstrahles wird das Ladungsbild unscharf eingeschrieben und bleibt bis zur nächsten Abtastung ge-

speichert. Am Ausgang des Vidikons entsteht gleichzeitig bei jeder Abtastung durch den Elektronenstrahl ein Signal aus der Differenz zwischen dem unscharfen Ladungsbild und dem zeitlichen Potentialverlauf an der Kathode, der dem scharfen Bild entspricht. Bei stark defokussiertem (unscharfem) Elektronenstrahl erhält man, wie später gezeigt wird, ein Bild, bei dem auch noch Details mit größeren Abmessungen enthalten sind, während bei scharf fokussiertem Strahl nur noch feinste Strukturen erhalten bleiben. Da die Differenz zwischen unscharfem Ladungsbild und Kathodenpotential auch negativ sein kann, sorgt eine gleichmäßige Beleuchtung der Fotoschicht dafür, daß auch dann noch die Differenz übertragen werden kann (Arbeitspunkteinstellung).

Die Modulationsübertragungsfunktion gibt, einfach ausgedrückt, an, wie gut oder wie schlecht verschieden große Details übertragen werden. Die Feinheit der Strukturen wird dabei durch ihren Gehalt an hohen Ortsfrequenzen gekennzeichnet. Die Ortsfrequenz wird in Perioden oder Linienzahl pro mm gemessen. Den feinen Strukturen sind damit hohe Ortsfrequenzen zugeordnet.

Alle Bildübertragungssysteme zeigen einen stetigen Abfall der Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) zu den hohen Ortsfrequenzen hin. Je weiter sich dabei die MÜF zu den hohen Ortsfrequenzen hin erstreckt, um so "schärfer" ist das Bild.

In Abb.8 ist die für das unbeeinflusste Fernsehen gültige, "normale" MÜF dargestellt. Sie verläuft bei den tiefen Ortsfrequenzen horizontal. Es werden daher grobe und mittlere Details gleichgut übertragen. Der Abfall der MÜF bei hohen Ortsfrequenzen bedeutet, daß die feinen Details um so schlechter übertragen werden, je klei-

ner sie sind.

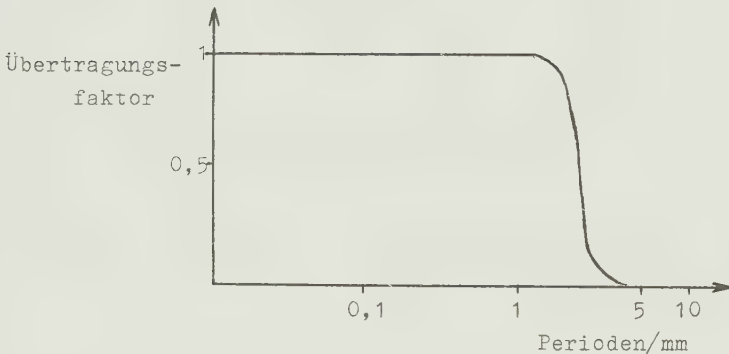


Abb.8: unbeeinflusste Modulationsübertragungsfunktion der Fernsehübertragung

Die Abb.9 zeigt nun dagegen das Ortsfrequenzspektrum einer Vidikonspeicherröhre. Jeder der Kurven 1,2,3 ist ein bestimmter Elektronenstrahldurchmesser zugeordnet. Man sieht, daß im Vidikonspeicher die tiefen Ortsfrequenzen, oder anders ausgedrückt, die groben Details in verschiedenem Maße schlechter übertragen werden als die mittleren und feinen Details. Der Vidikonspeicher läßt sich somit als Ortsfrequenz-Hochpaß bezeichnen, wobei die MÜF durch Änderung des Elektronenstrahldurchmessers nach rechts oder links verschoben werden kann, um die zum besseren Erkennen günstigste Übertragungsfunktion auszuwählen.

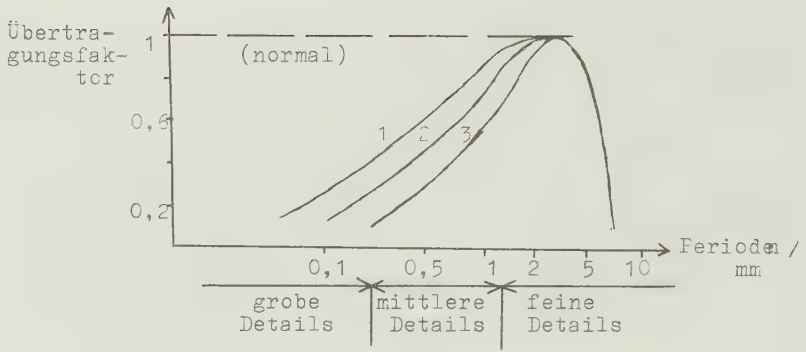


Abb.9: Beeinflussung der Modulationsübertragungsfunktion der Fernsehübertragung

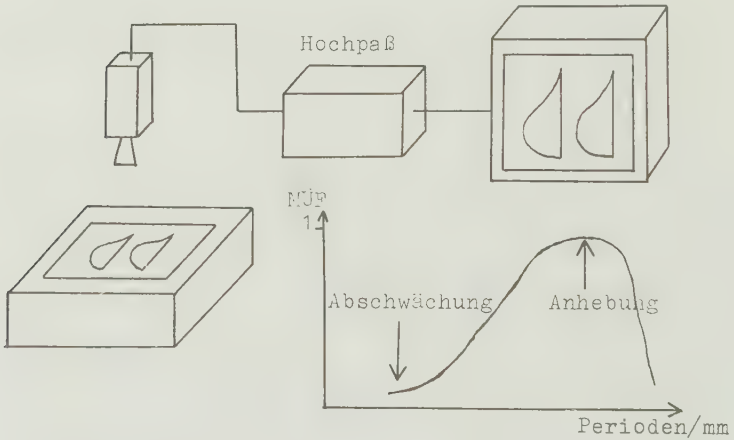


Abb.10: Schema der Harmonisierungsanlage mit der Anordnung des Vidikons als Ortsfrequenz-Hochpaß

Der Ortsfrequenz-Bandpaß:

Jedes Bilddetail kann man sich aus einem Kontinuum von Ortsfrequenzen mit unterschiedlichen Kontrasten zusammengesetzt vorstellen, deren Darstellung das gesamte Ortsfrequenzspektrum ergibt. Aus einer umfangreichen Kenntnis der Ortsfrequenzspektren von Mammographien könnte man die günstigsten Übertragungseigenschaften oder MÜF einer solchen Bildbeeinflussungsanlage ableiten und so zu einer schnelleren und sicheren Diagnosefindung gelangen. Es steht dabei zur Debatte, ob diagnosewichtige Details der Mammographien vielleicht nicht nur hauptsächlich Anteile bei hohen Ortsfrequenzen im Ortsfrequenzspektrum besitzen, sondern z.B. ausgeprägte Anteile in einem bestimmten, kleinen Ortsfrequenzbereich aufweisen.

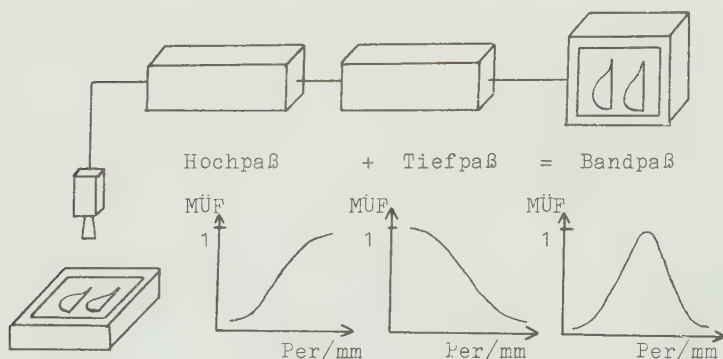


Abb.11: Schema der Harmonisierungsanlage mit einem Ortsfrequenz-Bandpaß

Eine solche Ortsfrequenz-Bandpaßfilterung wurde getestet durch Hintereinanderschaltung eines Ortsfrequenz-Hochpasses und eines Ortsfrequenz-Tiefpasses. Diese Anordnung läßt nur Signalanteile eines schmalen Ortsfrequenzbereichs passieren.

Der genannte Ortsfrequenz-Tiefpaß läßt sich ebenfalls mit einem Vidikonspeicher realisieren. Dem Vidikonspeicher muß dann noch ein Subtraktionsverstärker nachgeschaltet sein, der das Vidikonspeicherausgangssignal, welches nur Signalanteile hoher Ortsfrequenzen enthält, vom ursprünglichen, ungefilterten Fernsehsignal subtrahiert, wodurch nur Signalanteile tiefer Ortsfrequenzen übrigbleiben.

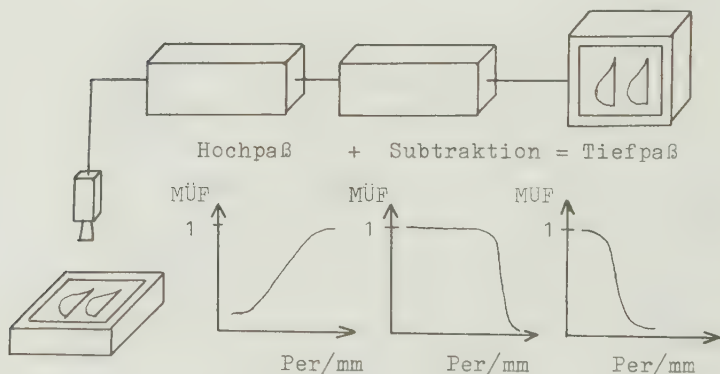


Abb.12: Schema des Ortsfrequenz-Tiefpasses durch Hochpaß und Subtraktion

Die Bandpaßfilterung mittels zweier Vidikonspeicher wurde gewählt, weil sich die Übertragungscharakteristik einfach mit elektrischen Signalen verändern läßt und deshalb für experimentelle Untersuchungen geeignet ist. Ein Ortsfrequenz-Bandpaß kann auch mit nur einem Vidikonspeicher realisiert werden, wenn man die Fernsehkamera mitbenutzt, die das Mammographiebild aufnimmt.

Durch Defokussierung des Abtastelektronenstrahles ihrer Bildaufnahmeröhre kann sie als Tiefpaßfilter ausgebildet werden. Die MUF des Ortsfrequenz-Bandpasses läßt sich ebenfalls durch Änderung der Brennweite des Zoomobjektives auf der Ortsfrequenzachse nach rechts oder links verschieben, oder es können die elektrischen Werte des Vidikonspeichers für eine schmale oder breite Bandpaßcharakteristik geändert werden.

Ergebnisse der Bandpaßfilterung:

Bei der Bandpaßfilterung von Mammographieaufnahmen werden pathologische Strukturen im Vergleich zum uneinflußten Bild teilweise hervorgehoben, jedoch erbrachte die Auswertung von 100 Aufnahmen im Vergleich zur Hochpaßfilterung keine gleich gute Erkennbarkeit spezifischer Strukturen. Dies kann darauf hindeuten, daß bei der Mammographie die Ortsfrequenzspektren pathologischer Strukturen keine ausgeprägten Anteile in einem schmalen Ortsfrequenzbereich aufweisen.

Auf Grund dieses Ergebnisses wurde für die weiteren Untersuchungen der Vidikonspeicher ausschließlich als Ortsfrequenz-Hochpaß eingesetzt. Die Bildübertragungscharakteristik wurde entsprechend der subjektiv optimalen Bilddarstellung variiert.

4. Vorteile und Nachteile der fernsehelektronischen Kontrastharmonisierung

Aufgezeigt an ausgewählten Beispielen

Es wurden 500 Mammographien mit dem Harmonisierungsgerät ausgewertet, wobei die Umstellung auf den Mammomat der Firma Siemens zur Herstellung der Mammographien beträchtliche Verbesserungen auch für die Kontrastanhebung ergab.

Die bei der Durcharbeitung des Materials gewonnenen Erkenntnisse sollen an Hand der folgenden Fallbeispiele aufgezeigt werden.

Außerdem wurden von einer ablatierten, carzinomatösen Mamma Schnitte mit einer Schichtdicke von etwa einem Zentimeter hergestellt und Mammographien der Gewebscheiben angefertigt. Dabei gingen wir von der Überlegung aus, daß durch Beschränkung der räumlichen Tiefe auf einen Zentimeter einzelne Bereiche des carzinomatösen Wachstums getrennt untersucht werden könnten, wobei Überlagerungen durch davor und dahinter liegendes Gewebe wegfielen.

W. A. geb.28.09.23 Abb.13, Abb.14

Die Nativmammographie Abb.13 der linken Brust zeigt etwa in Drüsenkörpermitte einen Verdichtungsprozeß von 2-3cm Durchmesser, der eine bogenförmige Vorwölbung in den retromammären Bereich aufweist. In ihm finden sich auch vereinzelte Kalkeinlagerungen. Daneben befindet sich eine weitere Verdichtung von etwa 1cm Durchmesser, von deren Zentrum ausgehend man streifige Verdichtungen, die in Mamillenrichtung ziehen, zu erkennen glaubt. In diesem Bereich läuft eine etwas geschlängelte Vene mit unterschiedlicher Kaliberweite zum Unterhautfettgewebe. Die Haut läßt keine auffallenden Verdichtungen erkennen.

Betrachtet man daneben die kontrastangehobene Aufnahme Abb.14, so fällt sofort auf, daß das in Drüsenkörpermitte beschriebene Gebilde zur Mamille hin eindeutig abgrenzbar wird. Außerdem treten eine Vielzahl von sternförmigen, streifigen Ausläufern lateral des rundlichen Tumors deutlich in Erscheinung, die in alle Richtungen ziehen. Das Hervortreten dieser Streifen zeigt sofort, daß an dieser Stelle die allgemeine Drüsenkörperformation strukturmäßig völlig unterbrochen wird. Dadurch wird man bei der Diagnosestellung eines Malignoms eindeutig bestärkt. Das Malignom fand sich histologisch im Zentrum der "Krebsfüßchen". Die rundliche Verschattung, die erst in der Kontrastharmonisierung in ihrer vollen Ausdehnung abgrenzbar war, entsprach einer Cyste, wobei letztlich auch histologisch nicht mehr zu entscheiden war, ob das Malignom von der Cystenwand ausging, oder nur eine Infiltration in die Cystenwand vorlag.

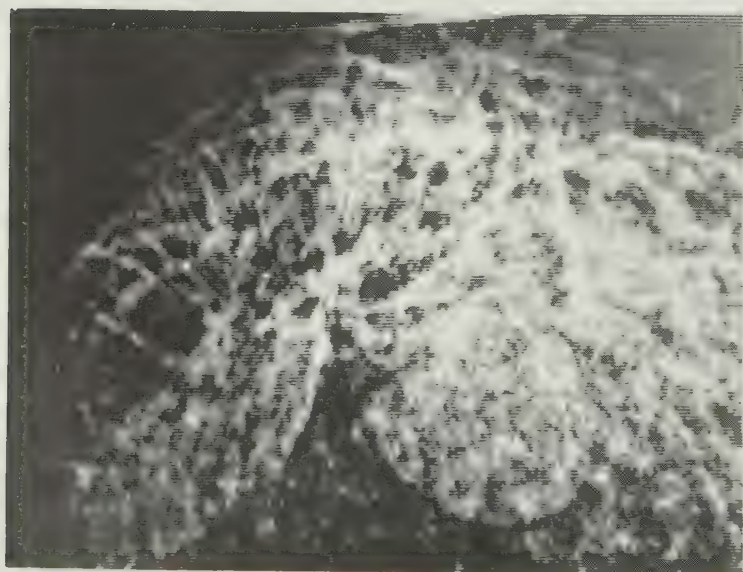


Abb.13:Mammogramm (oben) Abb.14:Harmonisierung zu Abb.13(unten)
 Auf der harmonisierten Aufnahme (unten) sind die kontrak-
 tilen Gewebselemente (Krebsfüßchen), die vom Zentrum des
 malignen Prozesses, lateral der Zystenwand in Bildmitte
 links, ausgehen, wesentlich deutlicher zu erkennen als
 auf der nicht manipulierten Mammographie (oben).

F. M. Geo 17 05 11 Abb 15, Abb 16

Bei der Betrachtung dieses Beispiels fällt auf, daß auf der kontrastangehobenen Aufnahme Abb.16 der etwa haselnußgroße Tumor mit den typischen, hier besonders gut ausgebildeten, sternförmigen Ausläufern sofort ins Auge fällt, während auf der Originalmammographie Abb.15 die Ausdehnung der "Krebsfüßchen" schwerer zu erkennen ist. Die streifenförmigen Ausläufer des Tumors lassen sich im harmonisierten Bild besser verfolgen. Durch ihre Länge geben sie einen Hinweis auf die Ausdehnung des malignen Geschehens. Die Kontrastanhebung stellt die Drüsenkörperstruktur reliefartig dar, wodurch die Störung der Struktur durch das Karzinom betont wird. Insgesamt gesehen läßt sich die Diagnose eines Malignoms im kontrastangehobenen Bild leichter stellen.

Abb.15:Ausschnitt des Mammogramms (oben)

Abb.16:Harmonisierung zu Abb.15 (unten)

Das Tumorzentrum in Bildmitte unten und die weitläufigen
"Krebsfüße" lassen sich auf dem harmonisierten Bild (unten)
viel besser erfassen.

T. M. geb.15.09.06 Abb.17, Abb.18

Die Mammographie Abb.17 und ihre Harmonisierung Abb.18 zeigen einen Ausschnitt aus der lateralen Hälfte einer Mamma im kraniopedalen Strahlengang. In der oberen Hälfte der Mamma erscheint das Strukturgefüge relativ geordnet und es ist eine angedeutete, bogige Ausrichtung zur Mamille vorhanden. In der unteren, linken Bildhälfte, oberhalb der angedeuteten, bogigen Axillarfalte, fällt auf, daß hier von einer zentralen, flächigen Verschattung ausgehend, die Strukturen mehr nach allen Richtungen hin verlaufen und bei einem Vergleich mit der oberen Bildhälfte insgesamt eine Unruhe der Strukturen sichtbar wird. Außerdem fällt sowohl etwa gleichstark im mammographischen wie im harmonisierten Bild ein geschlängelter Verlauf einer ziemlich großkalibrigen Vene auf. Die Unruhe der Strukturen, die zentrale Verdichtung und die auffallende Vene ergaben zusammen, besonders auf dem harmonisierten Bild, den dringenden Verdacht eines Malignoms, der sich intraoperativ im histologischen Schnellschnitt bestätigte.

Abb.17: Mammogramm (oben)

Abb.18: Ausschnitt aus der Harmonisierung zu Abb.17 (unten)

Das Tumorgeschehen läßt sich auf der harmonisierten Videeaufnahme (unten) wesentlich besser analysieren als auf dem Originalmammogramm (oben). Speziell das Tumorzentrum ist gut abgrenzbar. Leider gibt die Reproduktion den Kontrastumfang des Monitorbildes nur zum Teil wieder.

G. M. geb. 09.09.17 Abb.19, Abb.20

Es war für uns das Verhalten der Harmonisierung bei großflächigen Verschattungen von besonderem Interesse. Wir wählten dazu den vorliegenden Fall eines großen, retromamillären Fibroadenoms aus. Dieses Gebilde ist von der Umgebung relativ scharf abgesetzt und weist eine Kantenbildung auf. Die Kontrastanhebung Abb.20 zeigt an den Kanten einen breiten Saum, eine Art Hofbildung, die dieses, auf der Mammographie Abb.19 flächige, Gebilde deutlich hervorhebt. So erscheint uns eine Kontrastanhebung auch hier sinnvoll.

Abb.19: Ausschnitt des Mammogramms (oben)

Abb.20: Harmonisierung zu Abb.19 (unten)

Das retromamilläre Fibroadenom ist in der Harmonisierung (unten) zum einen deutlicher abgrenzbar, zum anderen werden in seinem Bereich Venenverläufe deutlich, wie auch insgesamt im Drüsenkörper wesentlich mehr Einzelstrukturen hervortreten.

P. I. geb. 11.08.27 Abb.21, Abb.22

Auf der Nativaufnahme dieses Beispiels zeigt ein relativ dichter Drüsenkörper in der Mitte, mehr lateral, angedeutet eine etwas vermehrte Dichte in einem Areal von 2-3cm Durchmesser. Dieser Eindruck wird durch die kontrastangehobene Aufnahme verstärkt. Aus diesem Grunde wurde das Gebilde punktiert und die entnehmbare, klare Flüssigkeit von etwa 5ml wurde durch Luft ersetzt. Hier ist schon bei der anschließend angefertigten Nativaufnahme Abb.21 deutlich der luftgefüllte, rundliche Hohlraum erkennbar. Betont wird dieser Bezirk noch bei der Kontrastanhebung Abb. 22. Entscheidend ist dabei die auffallend helle Hofbildung um den cystischen Prozeß. Der Randsaum ist homogen, so daß eine maligne Entartung nicht angenommen werden braucht.

Abb.21: Ausschnitt des Mammogramms (oben)

Abb.22: Ausschnitt der Harmonisierung zu Abb.21 (unten)

Durch die Harmonisierung (unten) wird eine Hofbildung am Cystenrand verursacht, die das Pneumocystogramm hervorhebt. Dabei werden Einzelheiten, die im Bild in der Cyste liegen, deutlich zur Darstellung gebracht. Ebenfalls treten die Luftansammlungen in den Milchgängen und im Gewebe klarer hervor.

K. M. geb. 15.5.10 Abb. 23, Abb. 24

Die Nativaufnahme Abb. 23 läßt unschwer das Carzinomzentrum mit der flächigen Verschattung erkennen, auch sind die vom Tumor ausgehenden, radiären Streifen deutlich nachzuweisen. Bei den kontrastangehobenen Aufnahmen haben wir die Erfahrung gemacht, daß die Bilder subjektiv in einem räumlichen Eindruck fernsehelektronisch wiedergegeben werden. Ein Beispiel hierfür ist die Abb. 24, die den Krebs in einer fast plastischen Weise wiedergibt. Dieser Eindruck wird teils durch die Kantenanhebung, teils durch die Hofbildung, hier um das Tumorzentrum, hervorgerufen.

Daß die Bezeichnung der malignen Infiltration als "Krebs" treffend ist, wird durch dieses kontrastangehobene Bild überzeugend vor Augen geführt.

Die eigentliche Ausdehnung der "Krebsfüße" läßt sich bei der kontrastangehobenen Aufnahme ebenfalls besser beurteilen.

Abb.23:Mammogramm (oben) Abb.24:Harmonisierung (unten)
Auch auf dem Mammogramm besteht kein Zweifel an dem histologisch nachgewiesenen malignen Prozeß. Die harmonisierte Aufnahme desselben Mammogramms (beide im Ausschnitt) läßt eine bessere Analyse der Tumorausdehnung zu. Es ist geradezu ein klassisches Bild des Krebses, wenn man seine Form mit der des gleichnamigen Tieres verbindet.

Schnittserien Abb.25, Abb.26

Die Schnittserien erbrachten den Nebebefund, daß das kontrastharmonisierte Röntgenbild eines Gewebsschnittes im Carzinombereich in seiner Wirkung auf den Betrachter weitgehend dem makroskopischen Aspekt der Schnittfläche entspricht, wobei jedoch nur in der kontrastangehobenen Mammographie die wirkliche Ausdehnung des infiltrativen Wachstums abschätzbar ist.

Der Bildvergleich des Malignoms im Schnittbild läßt bei verschiedenen Kontrastverstärkungen erkennen, daß auch der Grad der Kontrastanhebung für diagnosewichtige Details unter Umständen von entscheidender Bedeutung ist. Das vorliegende Beispiel zeigt einen rundlichen Verschattungsherd retromamillär. Der Bezirk ist zum Drüsenkörper hin nicht glatt begrenzt, sondern weist dreiecksförmige Auszipfelungen auf, die sich in feinstreifenförmige Verdichtungen bis zur Brustwand hin fortsetzen.

Man erkennt bei geringer Kontrastanhebung Abb.25 wesentlich mehr feinstreifige Detailstrukturen als auf dem stark kontrastierten Bild Abb.26. Der feinere Kontrastgrad zeigt, daß die Tumorumgebung viel intensiver tumorerös durch das Carzinom infiltriert ist (dem histologischen Querschnitt entsprechend), als man beim stärkeren Kontrastanhebungsgrad vermuten konnte, Dafür erscheint aber bei der letzteren Technik der massive Tumorbereich deutlicher aus dem Drüsenkörper abgehoben.

Mammogramm

Abb.24
geringe
Harmonisierung

Abb.25
starke
Harmonisierung

Text zu den Abbildungen Seite 40a

Text zu den Abbildungen Seite 40:

Ausschnitt aus dem Schnittbild eines retromamillären Carcinoms im Mammogramm (oben) und bei geringer und starker Harmonisierung (Abb.24 und Abb.25).

Abb.24: geringe Harmonisierung

Die Ausläufer des Tumorzentrums sind besser überschaubar als auf dem Mammogramm.

Abb.25: starke Harmonisierung

Gute Hervorhebung des Tumorzentrums und der direkten Umgebung. Weniger deutlich als bei Abb.24 sind die retraktilen Elemente.

S. B. geb.03.07.15 Abb.27, Abb.28

In der Abb.27 ist ein Milchgang durch eine Galaktographie dargestellt. Er ist mamillennah relativ weitleumig und scheint dann wenige Zentimeter von der Mamille entfernt abzubrechen. Bei genauem Hinsehen jedoch sieht man, daß der Milchgang noch über eine Strecke von mehreren Zentimetern Kontrastmittel aufgenommen hat. Das Kontrastmittel umfließt dabei einen, in diesem Milchgang wuchernden, karzinomatösen Prozeß.

Auf der harmonisierten Aufnahme Abb.28 ist der Abbruch des Milchganges bzw. der Beginn der Tumordinfiltration mit fast vollständiger Ausfüllung des Lumens zum einen durch die Kontraststeigerung deutlicher überschaubar, zum anderen kann bei solchen Detailstrukturen die Zoomoptik vor der Fernsehröhre erfolgreich eingesetzt werden, so daß die Auflösung bei der Harmonisierung fast beliebig gesteigert werden kann. Dadurch wird die Tumorstauung in diesem Beispiel besonders gut erkennbar. Eine Lupenbetrachtung des Originals bringt nicht den gleichen Erfolg, da hier die Kontraststeigerung fehlt.

Abb.27 Mammogramm (oben) Abb.28 Harmonisierung zu Abb.27(unten)
Ausschnitte aus dem retromamillären Raum mit Darstellung
eines kontrastmittelgefüllten Milchganges, der eine maligne
Wucherung erkennen läßt.
Bei der Harmonisierung (unten) wurde mit Hilfe der Zoom-
optik das Bild von Abb.27 vergrößert. Das Auflösungsver-
mögen des Systems nimmt bei Vergrößerungen zu. Damit läßt
sich die carcinomatöse Milchgangswucherung im Detail ge-
nau erfassen.

E. V. geb.23.09.09 Abb.29, Abb.30

Mit der Harmonisierung haben wir die Möglichkeit, ein Bild auf dem Monitor sowohl positiv als auch negativ zu betrachten. Zunächst haben wir rein subjektiv die positive Betrachtung vorgezogen, wie sie der Originalmammographie entspricht, weil wir glaubten, hier Strukturen besser erkennen zu können.

Das hier gezeigte Beispiel einer atrophischen Mamma läßt auf der harmonisierten Aufnahme Abb.29 eine Hervorhebung vorwiegend der Gefäßstrukturen erkennen. Die Strukturen entsprechen auf dem Original einer Verschattung bzw. auf dem Röntgenfilm, der ein Negativ darstellt, einer Aufhellung. Der Untergrund entspricht einer etwas gleichmäßigen Schwärzung in bestimmten Grauwerten.

Die Tatsache, daß der Bildinhalt besser auf dem Negativ der Originalmammographie Abb.29 und dem entsprechenden Monitorbild erkannt werden kann, als auf dem entsprechenden Positiv Abb.30, läßt sich physiologisch erklären.

Die Netzhaut wird durch Licht angeregt. Haben wir in einer grauen Fläche die Mammastrukturen dunkler vorliegen als die mehr flächige Umgebung, so wird auf der Netzhaut das Bild primär durch die Umgebung der genannten Strukturen hervorgerufen. Dadurch werden die Strukturen von der Umgebung teilweise überstrahlt und unterdrückt. Beim Negativ sind die Strukturen hell und regen selbst die Netzhaut stärker an, während die Umgebung durch ihre geringere Anregung der Netzhaut zurücktritt und dadurch das Bild der Strukturen nicht stört.

Ein weiterer, am Bildcharakter beteiligter, Faktor ist die Schwärzung. Die Schwärzung ist der Logarithmus der

Transparenz, welche durch das Verhältnis von auffallendem zu durchfallendem Licht ausgedrückt wird. In den Schwärzungsbereichen bis etwa zwei hat die Schwärzungskurve einen steilen Verlauf, der vom verwendeten Material abhängt.

Bei der Originalmammographie, die einem Negativ entspricht und ebenso bei der entsprechenden harmonisierten Abbildung, wird der steile Bereich der Schwärzungskurve ausgenutzt, wodurch die Strukturen kontrastreicher dargestellt werden. Sie weisen einen geringen Schwärzungsgrad auf, die Umgebung dagegen einen hohen.

Beim Positiv haben die Strukturen einen relativ hohen Schwärzungsgrad, der bereits im flachen Teil der Schwärzungskurve liegen kann. Da der Schwärzungsgrad der Umgebung auch nicht mehr im steilen Bereich der Schwärzungskurve liegt, ist der nutzbare Kontrast geringer und damit die Erkennbarkeit der Mammastrukturen gegenüber dem Negativ ungünstiger.

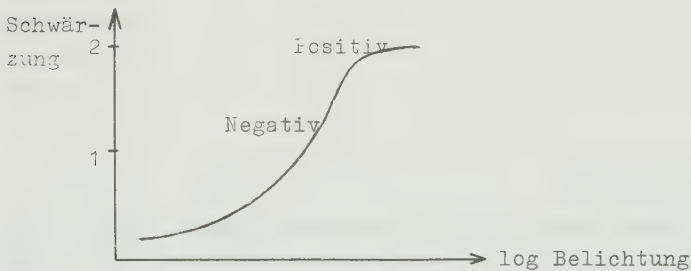


Abb.31: Positiv-Negativ Darstellung in der Beziehung zur Schwärzungskurve

Abb.29 Harmonisierung eines Mammogramms negativ (oben)

Abb.30 Harmonisierung eines Mammogramms positiv (unten)

Auf der Harmonisierung als Negativ (oben) treten die Strukturen insbesondere der Gefäße stark in Erscheinung und werden besser erkennbar. Die Harmonisierung als Positiv zeigt die Umgebung hell, während die Gefäße und andere Strukturen dunkel bleiben. Die Wiedergabe auf dem Monitor ist besser als es die Reproduktionen zeigen.

C. G. geb. 29.05.14 Abb.32, Abb.33

Auf der Mammographie Abb. 32 fallen eine Vielzahl von Verkalkungen auf. Die Form der Verkalkungen erscheint beim längeren Betrachten einheitlich. Es handelt sich um streifenförmige, schmale Kalkzüge mit zum Teil dentritischen Aufzweigungen. Die Verkalkungen liegen in mitten eines knotig umstrukturierten Drüsenkörpers. Diese Veränderungen entsprechen einer mastopathischen Umwandlung bei teilweiser Rückbildung des Drüsenkörpers. Die typischen, zweigförmigen, zum Teil leicht säckchenförmig erweiterten Verkalkungen sind hinweisend auf Kalkeinlagerungen in den Aufzweigungen der Milchgänge. Die Form der Verkalkungen ist bedeutungsvoll für die Diagnosestellung. Bei der Harmonisierung Abb.33 tritt im Bereich solcher starker Verschattungen das Licht ungehindert durch den Film und gelangt auf die Fotoschicht der Fernsehröhre, wo es zu einer sehr starken, lokalen Anregung der fotosensiblen Schicht kommt, die auf die unmittelbare Nachbarschaft übergreift. Dabei kommt es zu einer Übersteuerung dieses Systems und zur Verzerrung des Bildinhaltes auf dem Monitor. Der verkalkte Bezirk erscheint größer, gleichzeitig aber auch deformiert und kann daher zur Diagnosestellung nur bedingt verwendet werden. Für Mikrokalzifikationen ist diese Art der Übersteuerung unter Umständen förderlich, da sie dadurch vergrößert werden. Auch bei der Xeroradiographie wird eine Verstärkung der Mikrokalzifikationen hervorgerufen (12,13).

Im Wesentlichen erscheint uns jedoch die Mammographie zur Beurteilung von regulärer Form und Größe der Verkalkungen am geeignetsten.

Abb.32 Mammogramm mit typischen Verkalkungen in den Milchgängen (oben)

Abb.33 Harmonisierung von Abb.32 mit Harmonisierungsstufe 2
Die Verkalkungen sind auf dem Mammogramm (oben) eindeutig als Milchgangsverkalkungen zu identifizieren, während sie bei der großen Kontrastanhebung durch die übermäßige Kantenbetonung verzerrt werden und sich im stark vergrößerten dargestellten Drüsenkörper weniger deutlich abheben.(unten)

5. Vergleichende Untersuchungen der Xeroradiographie und der elektronischen Kontrastanhebung

Um die Tauglichkeit der elektronischen Kontrastanhebung an dem neusten Verfahren der manipulierten Röntgendarstellung der Mamma -der Xeroradiographie- zu testen, stellten wir vergleichende Untersuchungen von Xeroradiographien und elektronisch kontrastharmonisierten Filmmammographien der gleichen Mamma an. Dabei muß einschränkend gesagt werden, daß nie exakt der gleiche Strahlengang zur Darstellung kommt, weil Xerogramm und Filmmammogramm nicht in einem Untersuchungsgang hergestellt werden können. Die Xeroradiographie hat den Vorteil, daß bei ihr die Brustwand einschließlich der Axilla in einer Projektion miterfaßt werden kann. Die Mammographie vermag die Brustwand wegen ihrer Dicke überhaupt nicht wiederzugeben. Die Mamma entspricht in ihrer Form einem konisch zulau-fenden Zylinder, mit der Basis an der Brustwand. Diese Dickenunterschiede von Brustwand zu Mamille werden zwar bei der Mammographie durch Anpressen etwas ausgeglichen, jedoch sind die hautnahen Bezirke fast immer überstrahlt, d.h., auf der Aufnahme haben sie einen Schwärzungsgrad bei 3 und werden auch vor einer hochleistungsfähigen Lichtquelle nicht mehr transparent. Im Xeroradiogramm fallen solche Gewebsdickenunterschiede nicht so sehr ins Gewicht. Bei ihr werden die brustwandnahen Abschnitte eben so gut wiedergegeben wie die Haut und die mamillen-nahen Bezirke, so daß sich die gesamte Mamma ohne Schwierigkeiten auf einer Aufnahme überblicken läßt. Bei der harmonisierten Mammographie werden die haut-nahen Bezirke zwangsläufig auch nicht ausreichend gut wiedergegeben.

K. H. geb. 10.04.37 Abb. 34, Abb. 35

Bei dem Vergleich des relativ dichten Drüsenkörpers in beiden Verfahren ergeben sich bei der fernsehelektro-nischen Harmonisierung Abb. 34 in dem dichtesten Bereich doch noch mehr strukturelle Elemente als bei der Xero-radiographie Abb. 35. Die Mamma erscheint im Xeroradiogramm mehr als flächige Projektion, während die Harmonisierung einen fast räumlichen Eindruck entstehen läßt. Die Struk-turen haben einen reliefartigen Charakter. Bei der Be-trachtung der Originalmammographie zeigt diese mehr flä-chige, wolkgig dichte Verschattungen. Auch dieses Beispiel zeigt eindrucksvoll, daß auf die Originalmammographie nicht verzichtet werden kann, wenn es darauf ankommt, den Drüsenkörper in seiner Ausbildung zu beurteilen. Insbeson-dere das Xeroradiogramm nivelliert Dichteunterschiede relativ stark, wodurch einerseits die beurteilbaren Dich-tebereiche erweitert werden, andererseits jedoch wichti-ge Informationen verloren gehen: So kann z.B. rein von der Schwärzung her eine atrophische Mamma schwer von einer Jugendlichen, dichten Mamma unterschieden werden.

.ammogramm

Abb.34

Harmonisierung

Abb.35

.erogramm

Text zu den Abbildungen Seite 50a

Text zu den Abbildungen Seite 50:

Mammogramm eines dichten Drüsenkörpers mit wolkiger, teilweise homogener Verschattung.

Abb.34 Harmonisierung des Mammogramms

Es ergibt sich eine gute Strukturdarstellung mit reliefartigem Charakter.

Abb.35 Xeroradiogramm der gleichen Mamma

Sehr gute Überschaubarkeit von Haut, Drüsenkörper einschließlich Brustwand; jedoch weniger Information über die Drüsenkörperdichte. Die Überschaubarkeit der pectoral-nahen Anteile einschließlich der Thoraxwand ist der Mammographie und Harmonisierung überlegen.

M. L. geb. 19.04.27 Abb.36, Abb.37

In diesem Beispiel gibt das harmonisierte Bild Abb.36 die dysplastischen Einlagerungen im oberen Anteil der Mamma deutlicher als die Xeroradiographie Abb.37 wieder. Die Strukturen in ihrer Ausrichtung zur Mamille, wie sie der untere Anteil der Mamma charakteristisch zeigt, sind im Xerogramm auch im oberen Anteil vorherrschend. Im harmonisierten Bild fällt im oberen Anteil des Drüsenkörpers eine deutliche Durchbrechung der zur Mamille hin normalerweise bogenförmig ausgerichteten Strukturen auf. Hier sind die Strukturen unregelmäßig und geben den Eindruck von knotigen Veränderungen des Drüsenkörpers wieder.

Das brustwandnahe Gebilde im unteren Anteil der Mamma wird eindeutig vom Xeroradiogramm gegenüber dem Original und dem harmonisierten Bild am besten wiedergegeben. Auch läßt die scharfe Abgrenzung zur Brustwand auf dem Xeroradiogramm annehmen, daß es sich um einen gutartigen Tumor handelt, wahrscheinlich um ein Fibroadenom.

Mammogramm

Abb.36
Harmonisierung

Abb.37
Xerogramm

Text zu den Abbildungen Seite 52a

Text zu den Abbildungen Seite 52

Mammogramm: dysplastische Einlagerungen im oberen Anteil der Mamma.

Abb.36 Harmonisierung des Mammogramms

Gute Darstellung der Drüsenkörperstruktur und der irregulären, dysplastischen Anteile im retromamillären Bereich

Abb.37 Xeroradiogramm der gleichen Mamma

Gute und rasche Überschaubarkeit der Mamma und ihrer Struktur. Nachteilig ist die Unterdrückung der Dichte des Drüsenkörpers, so daß die Beurteilung seines Zustandes erschwert oder unmöglich ist.

K. A. geb.02.08.13 Abb.38, Abb.39

Ein Beispiel einer Mamma mit einem weitgehend zurückgebildeten Drüsenkörper mit fibrösen Resten: Hier ergibt das harmonisierte Bild Abb.38 den Eindruck eines räumlichen Geflechtes am eindruckvollsten wieder, während das Xeroradiogramm zwar transparent, aber flächig erscheint. Man kann sich vorstellen, daß ein solcher Drüsenkörper, der vom Fettgewebe und von der Haut befreit ist, am ehesten mit dem harmonisierten Bild zu vergleichen ist. Vorherrschend sind auf diesem Bild neben den fibrösen Drüsenresten die venösen Gefäßstrukturen. Der retro-mamilläre Raum wird, wie alle hautnahen Bezirke, gerade auch in diesem Fall im Xerradiogramm Abb.39 besser wiedergegeben.

Das mammographische Bild einer atrophischen Mamma wird oft als "leer" bezeichnet; neben mangelnder Dichte erscheint es relativ strukturarm. Nach der Entwicklung der Xeroradiographie und der fernsehelektronischen Harmonisierung wäre es wohl kaum zur Prägung dieses Begriffes gekommen.

Mammogramm

Abb.38

Harmonisierung

Abb.39

Xerogramm

Text zu den Abbildungen Seite 54

Mammogramm: Atrophischer Drüsenkörper mit fibrösen Resten

Abb.38 Harmonisierung des Mammogramms

Gute Darstellung des Drüsenkörpers und der Venen als räumliches Geflecht. Diese fernsehtechnische Umwandlung der involutierten Mamma widerspricht dem Ausdruck "leere Mamma"

Abb.39 Xeroradiogramm der gleichen Mamma

Es gibt einen gleichguten Überblick über alle strukturellen Elemente. Vor allem sind Haut, Brustwand und retro-mamillärer Bereich gut zu beurteilen.

S. G. geb.26.07.38 Abb.40, Abb.41

Ein extrem dichter Drüsenkörper erscheint im Mammogramm im wesentlichen nur als flächige Aufhellung ohne Strukturen, so daß eine Beurteilung höchstens bedingt möglich ist, Die Harmonisierung Abb.40 vermag wenigstens die vorhandenen Strukturen herauszuheben und damit die Diagnosestellung erleichtern. Auch das Xeroradiogramm Abb.41 erscheint in solchen Fällen wesentlich aussagekräftiger als die Mammographie, da die diagnosewichtigen Strukturen im Bild gut dargestellt werden. Nur im Xerogramm wird die Areola deutlich abgebildet.

Bei der Betrachtung der harmonisierten Aufnahme ist zwar eine relative Vielzahl von Strukturen erkennbar, aber die eigentliche Dicke und Dichte des Drüsenkörpers, wie sie uns die Originalmammographie mit ihrer fast milchglasartigen Trübung veranschaulicht, geht in der Kontrastanhebung verloren. Dieses Beispiel ist typisch für die elektronische Kontrastanhebung. Es läßt sich dies grundsätzlich für alle 500, bei uns ausgewerteten, harmonisierten Mammographien feststellen: Eine Aussage über die Dichte des Drüsenkörpers, wie z.B. für endokrinologische Fragestellungen, ist mit diesem Verfahren nur bedingt möglich. Der Grund dafür, daß in der Harmonisierung der Dichtezustand nicht zur Darstellung kommt, liegt in der Tatsache begründet, daß diese flächenhaften Verschattungen keine scharfen Begrenzungen haben, sondern einen kontinuierlichen Übergang zur Umgebung aufweisen.

Mammogramm

Abb.40
Harmonisierung

Abb.41
Xerogramm

Text zu den Abbildungen Seite 56a

Text zu den Abbildungen Seite 56

Mammogramm: Der sehr dichte Drüsenkörper erscheint als flächige Aufhellung ohne Struktur, wobei eine eindeutige Beurteilung fast unmöglich ist.

Abb. 40 Harmonisierung der gleichen Mammographie
Strukturen werden erstaunlich gut hervorgehoben: z.B. Vene in Bildmitte unten. Für derartige Mammographien erscheint eine Harmonisierung besonders gut geeignet.

Abb. 41 Xeroradiographie der gleichen Mamma
Der Drüsenkörper erscheint als flächige Projektion, einzelne Venenverläufe werden erkennbar; Haut, Areola und Brustwand lassen sich beurteilen. Auch die Xeroradiographie ist gerade in einem solchen Fall der Nativmammographie überlegen.

6. Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Zunächst kann man davon ausgehen, daß die Anwendung der fernsehelektronischen Kontrastanhebung keine weiteren Nachteile mit sich bringt. Auf die Betrachtung des Originalmammogramms kann (siehe später) nicht verzichtet werden.

Bei der Anwendung der elektronischen Kontrastanhebung zwingt man sich, die Mammographie, wenn auch als Fernseh-bild, ein zweites Mal anzuschauen und erreicht damit eine höhere diagnostische Sicherheit. Das Bild der Mammographie enthält weit weniger, die Orientierung erleichternde Grundstrukturen als zum Beispiel eine Lungenaufnahme mit dem Skelettsystem, der Herzsilhouette, den Hili, der Lungengefügestruktur usw; eine rasche Überschaubarkeit der Mammographie ist aus diesen Gründen nicht annähernd so gut möglich.

Für die Kontrastanhebung läßt sich ganz allgemein sagen, daß das menschliche Auge von Natur aus die Fähigkeit besitzt, den Kontrastunterschied an den Kanten optischer Bilder zu verstärken. Man nennt diese Erscheinung Simultankontrast (23). Da unsere Augen 10 bis 100 mal in der Sekunde kleinste Bewegungen ausführen, wird der Rand z.B. eines Schattens auf der Retina dauernd über eine schmale Zapfenreihe hin und her bewegt. Die Zapfen adaptieren sich schnell, aber am Rand liegt ein dauernder Wechsel vor, der eine Adaption verhindert und zu einer neuen, vollen Erregung führt. So gesehen, kann man die Kontrastanhebung als eine Erweiterung einer natürlichen Fähigkeit des menschlichen Auges ansehen.

6.1. Vorteile der elektronischen Kontrastanhebung

6.1.1. Überschaubarkeit und Strukturanhebung

Die Harmonisierung des Grobkontrastes der Filmmammographien macht deren stark unterschiedliche Schwärzungsbereiche im Fernsehen überhaupt erst überschaubar. Dichtes Drüsenkörpergewebe und strahlendurchlässige, hautnahe Bereiche lassen sich gut beurteilen. Die gleichzeitige Anhebung des Feinkontrastes läßt die Struktur des Drüsenkörpers deutlicher hervortreten. Sie erscheint zwar vergrößert, doch lassen sich strukturelle Störungen, bei einer regelmäßigen Umgebung, leichter erfassen. Störungen in der Feinstruktur sind nicht selten der einzige Hinweis für ein malignes Geschehen, wenn massivere Veränderungen, wie z.B. Tumordichte oder Mikrokalzifikationen fehlen. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Versuch der Früherkennung mit dem elektronischen Verfahren auch eine höhere Quote von falsch positiven Befunden mit sich bringen kann. Die Befunde, die lediglich bei der Harmonisierung einen Verdacht auf eine Infiltration ergeben haben, kontrollieren wir zunächst nach 1/4 bis 1/2 Jahr. Diese Fälle waren jedoch sehr selten, da der, bei der Kontrastharmonisierung als verdächtig angesehene Bezirk, sich bei einer erneuten Betrachtung auf der Mammographie als ebenso auffällig bzw verdächtig erwies. Bei Vorliegen eines Malignoms ist mit der elektronischen Detailverdeutlichung dessen tatsächliche Ausdehnung im Drüsenkörper sicherer abzugrenzen als dies anhand der Originalmammographie möglich ist. Es lassen sich sowohl differenziertere Hinweise für das operative Vorgehen wie auch für die Prognose gewinnen, da die Kenntnis der wahren Tumorausdehnung für die heute allgemein durchgeführte Stadieneinteilung von großer Bedeutung ist.

6.1.2. Abgrenzung flächiger Verschattungen

Durch die Unterdrückung von rein flächigen Strukturen und die gleichzeitige Kantenanhebung durch die Betonung der Grenzen von Schwärzungsunterschieden werden Gebilde, die in ihrer Innenstruktur relativ homogen und zur Umgebung gut abgegrenzt sind, in der kontrastangehobenen Aufnahme leichter und schneller erkennbar. Dies trifft sowohl für cystische Prozesse als auch für gutartige, verdrängend wachsende Tumoren zu. Für die Differentialdiagnose gegenüber malignem Wachstum kommt dabei die gleichgute Hervorhebung von glattwandiger Abgrenzung und von "Krebsfüßchen" entsprechenden Ausläufern zustatten.

Die zur Abklärung cystischer Prozesse angewandte Pneumocystographie ist ebenfalls zur Kontrastharmonisierung geeignet. In der Regel wird bereits auf dem Nativ - Pneumocystogramm die luftgefüllte Cyste deutlich abzugrenzen sein. Der Eindruck wird durch die Kontrastanhebung verstärkt und die Veränderungen in der Cyste z.B. bei Kammerung verdeutlicht. Verantwortlich ist eine Hofbildung, bedingt durch die abrupten Helligkeitsunterschiede am Cystenrand, die bei starker Kontrastanhebung zur Überstrahlung der Umgebung führen kann.

6.1.3. Vergrößerung von Mikrokalzifikationen

Die oben genannte Überstrahlung bei sehr starken, lokalen Schwärzungsunterschieden ist wohl als Ursache dafür anzusehen, daß die bei psammösen Carzinomen der Mamma auftretenden Mikrokalzifikationen vergrößert werden. Bei der Betrachtung harmonisierter Aufnahmen wird dieser Effekt wieder durch die Strukturenanhebung zum Teil ausgeglichen, d.h. abgeschwächt und Mikrokalzifikationen können bei der

Harmonisierung nur bedingt erkannt werden. Auch sind diese winzigen Verkalkungen nur hinweisend und nicht beweisend für ein malignes Geschehen.

6.1.4. Pseudoräumlichkeit

Die Strukturanhebung des Drüsenkörpers durch die Kontrastharmonisierung führt nicht allein zu einer Verstärkung und Hervorhebung der strukturgebenden Elemente, bei den meisten Bildern hat man zu dem den Eindruck einer gewissen Räumlichkeit; das Bild erscheint plastisch zum Teil in der Art eines Reliefs. Dadurch werden die Nachteile der flächigen Projektion eines räumlichen Gebildes etwas abgeschwächt, was für die Beurteilung des Drüsenkörpers mit seinem Strukturreichtum bei geringen Kontrastunterschieden von besonderem Vorteil ist. Dieser Effekt zeigt sich besonders gut bei malignen Tumoren, die sich durch ausgeprägtes infiltratives Wachstum auszeichnen und weitreichende Ausläufer besitzen. (Abb.24)

6.1.5. Variation des Grades der Kontrastharmonisierung

Durch die Änderung der Modulationsübertragungsfunktion des Vidikonspeichers (siehe Abb.9 Seite 22) läßt sich bei der elektronischen Kontrastanhebung der Grad der Harmonisierung durch Tastendruck beliebig variieren. Dadurch werden flächige Details verschieden stark unterdrückt. Bei sehr starker Kontrastanhebung kommt es zu einer starken Vergrößerung der Drüsenkörperstrukturen, die bis zur Überstrahlung durch den übermäßigen Kanteneffekt geht. Andererseits werden auch noch sehr dichte Drüsenkörperbereiche aufgelöst und transparent. Ebenso treten Cysten, Fibroadenome und Tumorzentren gut aus der Umgebung hervor, jedoch lassen sich feine Ausläufer nicht

in die Peripherie verfolgen.

Bei geringer Harmonisierung bleibt dichtes Drüsengewebe undurchsichtig und Strukturveränderungen treten nicht deutlich genug hervor, jedoch lassen sich feinste Tumorausläufer am besten beurteilen.

Der optimale Harmonisierungsgrad muß entsprechend der Dichte des Drüsenkörpers und seinen Veränderungen ausgewählt werden. Er läßt sich nur durch Experimentieren ermitteln. Es kann vorkommen, daß eine Mammographie mit verschiedener Fragestellung mit unterschiedlichen Harmonisierungsgraden betrachtet werden muß.

6.1.6. Detailvergrößerung mit der Zoomoptik

Für die Vergrößerung von Ausschnitten hat die Zoomoptik an der Fernsehröhre den Vorteil, daß sich das Auflösungsvermögen des Systems bei nahezu beliebiger, stufenloser Vergrößerung nicht verringert. Das Auflösungsvermögen ist bei der Fernsehübertragung nahezu unbegrenzt. Durch entsprechende Ausschnittsvergrößerung mit der Zoomoptik zusammen mit der variablen Kontrastanhebung lassen sich kleinste, verdächtige Veränderungen, z.B. im Milchgangssystem (siehe Abb.28) ausgezeichnet beurteilen. Ebenso läßt sich das Format des Monitors durch Ausschnittsvergrößerung stets optimal ausnutzen.

6.1.7. Möglichkeit der Negativ - Positiv Darstellung

Wie gezeigt wurde, bringt die Darstellung der kontrast- angehobenen Aufnahme als Negativ Vorteile gegenüber dem Positiv, die in der Physiologie des Sehens begründet liegen. Zum anderen jedoch ist die Erkennung schwarzer Strukturen auf weißem Untergrund weitgehend durch Lernprozesse und Gewöhnung fixiert, da unser gesamtes Schrifttum in dieser Qualität zur Darstellung kommt. Diese Tat-

sache liegt wohl auch darin begründet, daß die weiße Fläche auch bei schlechter Beleuchtung genügend Licht reflektiert, um die schwarzen Buchstaben darauf erkennen zu lassen. Die in ihrer Fläche winzigen, weißen Buchstaben würden dann, auf einer schwarzen Fläche, die Netzhaut sicher nicht mehr genügend erregen.

Die Darstellung der Mammographie auf dem Fernsehmonitor kann auf diesen Kunstgriff verzichten, da sich in jedem Fall, trotz des schwarzen Untergrundes, eine genügend hohe, regulierbare Leuchtdichte der weißen Strukturen einstellen läßt.

Für die Negativdarstellung spricht zusätzlich der Umstand, daß die nutzbaren Schwärzungsdifferenzen zwischen Struktur und Umgebung in einen steileren Bereich der Schwärzungskurve fallen und somit einen etwas höheren Detailkontrast erbringen, als bei der Darstellung als Positiv. Da die Auswertung der Abbildungen durch den Betrachter subjektiv vorgenommen wird, ist es möglich, daß im speziellen Einzelfall bei der Negativdarstellung die hellen Strukturen in einer nur wenig dunkleren Umgebung schlecht erkannt werden. Die Umschaltung auf die Positivdarstellung kann dann, trotz der oben genannten Nachteile, dem Betrachter Vorteile für die Auswertung bieten.

6.1.8. Vorteile für die Didaktik

Filmmammographien lassen sich einem größeren Zuhörerkreis auf Grund ihrer geringen Größe und unübersichtlichen Strukturvielfalt schlecht demonstrieren. Für eine Projektion sind sie wegen ihres hohen Schwärzungsgrades größtenteils ungeeignet. Durch die fernsehelektronische Kontastanhebung kann man die Nachteile der Filmmammogra-

phien umgehen. Eine einfache Fernsehübertragung ist bei der Mammographie nicht möglich, da der unterschiedliche Schwärzungsumfang eine Gesamtübersicht der Mamma auf dem Monitor nicht zuläßt.

6.2. Nachteile der elektronischen Kontrastanhebung

6.2.1. Überstrahlung bei Kalkeinlagerungen und Kontrastmittelfüllungen

Die Überstrahlung bei kalkdichten Verschattungen führt zu deren Vergrößerung im kontrastangehobenen Bild. Dieser Effekt mag sich bei Mikrokalzifikationen vorteilhaft auswirken, bei größeren Kalkeinlagerungen, wie z.B. Milchgangsverkalkungen, behindert die gleichzeitige Verzerrung die Analysierung der Verschattung, da deren Form nicht entsprechend wiedergegeben wird.

Der gleiche nachteilige Vorgang verhindert weitgehend die Anwendung des Verfahrens bei Kontrastmittelfüllungen, wie sie die Galaktographie darstellt. Es ist jedoch denkbar, daß sich durch eine geeignete Verdünnung des Kontrastmittels die Überstrahlung verhindern ließe.

6.2.2. Unzureichende Darstellung des Dichtezustandes des Drüsenkörpers

Die Anhebung des Detailkontrastes bedingt eine Harmonisierung des Grobkontrastes. Dadurch werden sehr dichte Bezirke der Mammographie transparent und die wenig geschwärzten nicht überstrahlt. Dichte Drüsenkörper und strahlendurchlässige Hautbereiche können zusammen gut dargestellt werden. Der Nachteil des Verfahrens ist ein Verlust an Informationen über den Dichtzustand des Drü-

.

senkörpers. Beim kontrastangehobenen Bild kann die Diagnose z.B. "atrophische Mamma" oder "jugendlicher, dichter Drüsenkörper" nur sehr bedingt aus der Dichte der Strukturen, sondern eigentlich nur aus der physiologischen Veränderung der Strukturen gestellt werden. Auf eine Betrachtung der Originalmammographie kann aus diesen Gründen unter keinen Umständen verzichtet werden.

6.2.3. Geringe Automatisierung des Verfahrens

Das elektronische Verfahren macht es dem Betrachter möglich, an vielen Stellen des Systems korrigierend einzugreifen, um eine optimale Abbildung zu erreichen. Dies bedeutet jedoch für die routinemäßige Anwendung, daß zur Bearbeitung eines Falles ein relativ hoher Zeitaufwand benötigt wird, um die Vielzahl an Informationsmöglichkeiten durch Manipulation der Mammographien auszunutzen. Zum Teil wird dies durch die schnellere Informationsentnahme am verdeutlichten Bild wieder ausgeglichen. Die Arbeit an dem Gerät muß im teilweise abgedunkelten Raum geschehen, verlangt daher eine gewisse Adaption an die Lichtverhältnisse und ist ermüdend.

Wünschenswert wäre eine, dem elektronischen Apparat angeschlossene Vorrichtung zur Herstellung von Sofortkopien auf raschestem Wege, die mit Auflicht betrachtet werden könnten. Hierfür würde sich nach unseren Erfahrungen das Polaroidverfahren besonders gut eignen. Allerdings müßte der Vorgang vollautomatisch und mit unterschiedlich starken Kontrastanhebungen erfolgen.

6.3. Vergleich der elektronischen Kontrastanhebung mit der Xeroradiographie

Die Charakteristik der Abbildungen zeigt in beiden Verfahren viele Ähnlichkeiten. Es lassen sich jedoch wesentliche Unterschiede herausstellen.

6.3.1. Vorteile der Xeroradiographie gegenüber der elektronischen Kontrastanhebung

6.3.1.1. Erweiterung des diagnostischen Bereiches

Die Harmonisierung des Gesamtkontrastes ist bei der Xeroradiographie so weit ausgedehnt, daß die Brustwand mit den Achsellymphknoten und die Mamma mit ihrer Hautbegrenzung sehr gut in einem Bild dargestellt werden können. Der enorme Dicken- und Dichtenumfang eines Objektes, den die Xeroradiographie noch im Detail wiederzugeben vermag, ist für den Röntgenfilm zu groß.

Dieser enorm erweiterte diagnostische Bereich ist der Hauptvorteil der Xeroradiographie gegenüber der elektronischen Kontrastharmonisierung, deren Grenzen durch das Film-Mammogramm vorgegeben werden.

Von einer sehr guten, vergrößerten Abbildung von Mikrokalzifikationen wird ebenfalls berichtet (6, 7).

Die Wiedergabe der Haut und der Areola ist im Xerogramm gegenüber der elektronischen Kontrastharmonisierung wesentlich besser in ihrer Abgrenzbarkeit und der Darstellung von Strukturen.

6.3.1.2. Weitgehende Automatisierung des Verfahrens

Das Gerät, das von der Industrie zur Xeroradiographie

angeboten wird, ist soweit entwickelt, daß die verschiedenen Arbeitsprozesse zur Herstellung des Xerogramms weitgehend automatisch vor sich gehen. Das gesamte Verfahren ist ein Trockenverfahren und benötigt keine Dunkelkammer. Das Xerogramm ist innerhalb von zwei Minuten verfügbar.

6.3.1.3. Auflichtbilder

Die Xerogramme sind mit Kunststoff beschichtete Papierfolien und entsprechen einer Fotografie. Als Auflichtbilder lassen sie sich rascher und ermüdungsfreier betrachten als Durchlichtbilder. Es sind keinerlei besondere Beleuchtungsvorrichtungen notwendig.

6.3.1.4. Geringere Strahlenbelastung

Wolfe (12) fand bei seinen Untersuchungen, daß die Strahlenmenge zur Herstellung einer Xeroradiographie um 60% geringer ist im Vergleich zur Filmmammographie. Dieser Wert erscheint uns, wenn man die Entwicklung der Spezialröntgengeräte für die Mammographie berücksichtigt, nicht mehr zuzutreffen.

Fischedick (13) fand bei seinen neusten Untersuchungen, daß die Strahlenbelastung durch die Xeroradiographie geringer ist als durch die Mammographiegeräte, die, nach Höffken, bei Werten zwischen 4 und 11 R liegt.

6.3.2. Nachteile der Xeroradiographie

6.3.2.1. Starke Kantenanhebung

Da die Xeroradiographie mit einer besonders starken Harmonisierung des Grobkontrastes arbeitet, die den diagnostischen Bereich so weit ausdehnt, treten auch deren nachteilige Folgen vermehrt in Erscheinung: Die feinsten Struk-

turen des Drüsenkörpers werden nicht in allen Fällen gleich gut aufgelöst und verlieren sich in flächigen Verschattungen.

Aus dem gleichen Grund erlaubt das Xerogramm noch weniger als das elektronisch harmonisierte Bild, eine Aussage über den Dichtezustand des Drüsenkörpers.

6.3.2.2. Fixierter Harmonisierungsgrad

Durch die weitgehende Fixierung des Harmonisierungsgrades ist es nicht möglich, wie bei dem elektronischen Verfahren, die Übertragungseigenschaften unter Sichtkontrolle des Bildes den Struktureigenheiten der einzelnen Mamma anzupassen. Dies wirkt sich vor allem bei der atrophischen, sogenannten "leeren" Mamma negativ aus, so daß Fishedick (13) die Xeroradiographie in diesen Fällen der normalen Filmmammographie für nicht überlegen hält. Dies gilt ebenfalls für Kalkeinlagerungen und Kontrastmittelfüllungen, da sich die unerwünschten Überstrahlungen nicht ausreichend unterdrücken lassen.

6.3.2.3. Kleiner Belichtungsspielraum

Fishedick (13) weist auf den Nachteil des kleineren Belichtungsspielraumes der Xeroradiographie hin, der daraus resultiert, daß nur im niedrigen KV-Bereich der Effekt der Randkonturverschärfung voll ausgenutzt werden kann. Dieser Umstand stellt an das Können und die Geschicklichkeit der med. techn. Assistentin weit höhere Anforderungen, als bei der Filmmammographie mit einem Spezialgerät.

6.3.2.4. Keine Vergleichsmöglichkeit mit dem Filmmammogramm

Die Untersuchungen der beiden Verfahren haben gezeigt, daß durch die Manipulation der Abbildung des Röntgenbildes gerade für die Mammographie unbestreitbare Vorteile gewonnen werden. Beide Verfahren zeigen jedoch auch Schwächen und Möglichkeiten der Fehlinterpretation. Es ist daher ein nicht zu behebender Nachteil der Xeroradiographie, will man der Patientin eine weitere Untersuchung und damit Strahlenbelastung ersparen, daß bei diesem Verfahren kein Filmmammogramm entsteht, das zur Ergänzung des Befundes, wie bei der elektronischen Kontrastharmonisierung, dienen könnte.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde zunächst ein Überblick über die wichtigsten Verfahren zur Detailkontrastanhebung von Röntgenbildern gegeben und die Methoden des photographischen Kopierens mit der unscharfen Maske, der Logetronographie, des Fluorododge-Kontaktverfahrens sowie die Xeroradiographie und die fernsehelektronische Kontrastharmonisierung vorgestellt.

In der allgemeinen Röntgendiagnostik ist das Bild z.B. des Skelettes durch bestimmte, anatomische Grundstrukturen geprägt, die eine schnelle Orientierung ermöglichen. Jede Änderung oder Abweichung von dieser Grundstruktur läßt rasch die pathologische Veränderung erkennen.

Bei der Mammographie werden nur Weichteile wiedergegeben, die eine unwahrscheinlich große Varianz der Grundstrukturen von einem Individuum zu anderen aufweisen, so daß die schnelle Orientierung und Übersicht für diese Art der Aufnahme nicht zutrifft. Hier hat sich ein Eingriff in das Bild und seinen Kontrast als vorteilhaft erwiesen, wobei auf elektronischem Wege über das Fernsehen bestimmte Grobkontraste unterdrückt und Feinkontraste hervorgehoben werden. Diese Art der elektronischen Kontrastanhebung hat sich als gute Ergänzung der Originalmammographie erwiesen, da sich pathologische Strukturen rascher und besser erkennen lassen. Insbesondere kann die carcinomatöse Infiltration der Mamma, da sie vor allem feinstruktureiche Bilder ergibt, gut mit der elektronischen Kontrastanhebung erfaßt werden. Anhand von ausgewählten Beispielen wurden Vorteile und

Nachteile der fernsehelektronischen Kontrastharmonisierung aufgezeigt und vergleichende Untersuchungen zur Xeroradiographie vorgenommen.

Bei der fernsehelektronischen Manipulation der Mammographie entsteht ein pseudoräumliches Bild, das zusammen mit der Feinstrukturanhebung eine teilweise bessere Überschaubarkeit ergibt. Flächige Verschattungen werden dagegen unterdrückt, so daß zur Beurteilung der Drüsenkörperkonsistenz und Dichte das harmonisierte Bild nicht ausreicht und von einer Betrachtung der Originalmammographie nicht Abstand genommen werden darf. Mikrokalzifikationen erscheinen vergrößert. Besondere Vorteile ergeben sich auch im Hinblick auf die Didaktik, da lediglich die fernsehelektronisch kontrastangehobene Aufnahme einem größeren Auditorium übermittelt werden kann.

Die Nachteile des elektronischen und xeroradiographischen Verfahrens sind eine Überstrahlung bei Kontrastmittelfüllungen, wobei speziell bei der Xeroradiographie der Nachteil gegeben ist, daß ein Originalmammogramm im üblichen Sinne nicht vorliegt. Auch ist der Harmonisierungsgrad bei der Xeroradiographie fixiert und die Kantenanhebung zu stark betont.

Die Vorteile der Xeroradiographie sind ein angenehm zu betrachtendes Auflichtbild und eine eindeutig bessere Erfassung der brustwandnahen Abschnitte.

Beide Methoden haben gegenüber den anderen, oben erwähnten Verfahren zur Detailkontrastanhebung den Vorteil, daß sie routinemäßig angewandt werden können und dadurch überhaupt erst diskutabel werden. Für die fernsehelektronische Kontrastanhebung wäre eine bessere Automatisierung wünschenswert.

Im Gesamten gesehen stellt die fernsehelektronische

Kontrastanhebung und die Xeroradiographie zusammen mit der Originalmammographie auf Grund der Erhöhung des Detailkontrastes und der Unterdrückung der großflächigen Strukturen eine Verbesserung in der Mammadiagnostik dar.

8. Literaturverzeichnis

- 1 Maass,H: Symptomatik und klinische Diagnostik der Brustdrüsentumoren
diagnostik 4,460-461 (1971)
- 2 Urban,A.J: Bilateral Breast Cancer in Bilateral Breast Cancer Early and Late, Thirteenth Annual Clinical Conference on Cancer (1968) 263, Year Book Medical Publishers INC Chicago 1972
- 3 Lauth,G: Aussage der Mammographie und ihrer Zusatzuntersuchungen, Deutsches Ärzteblatt 9,485 (1972)
- 4 Kaufmann, Gastvorlesung, gehalten im SS 1971 An der II.Frauenklinik der Universität München
- 5 Spiegler,G.,
Kalmann,J: Ein neues Kopierverfahren zur Herstellung ideal harmonischer Kopien nach kontrastreichen Negativen Fortschr.Röntgenstr.42,509-518(1930)
- 6 Gajewski,H: Bildgüte in der Radiologie, Symposium am 1.und 2.Oktober 1964
- 7 Craig,D.R: Photographic Engineering 5,219-226
(1954)

- 8 Jutras,A., Le Logetron, Masson u. Cie.
Fischgold,H: Paris 1958
- 9 Wener,K.,Bader,W. Logetronographie, Röntgenbl.
Buttenberg,D: 11, 91 (1958)
- 10 United States Kopierverfahren mit Leuchtschichten
Radium Corp: als Lichtquelle, Schweizer Patent
2783678 angem. 10.10.58
- 11 Meisel,P: Das Fluorododge-Kontaktverfahren
Röntgenfortschr.101/4,432 (1964)
- 12 Wolfe,N.J: Xeroradiography of the Breast, in
Breast Cancer Early and Late, Thirteenth Annual Clinical Conference
on Cancer (1968) 97 Year Book Medical Publishers INC Chicago (1972)
- 13 Fishedick, Die Xeroradiographie, Persönliche
Mitteilungen (1973)
- 14 Fuchs,W.A., Die elektronische Detailverdeut-
Messerschmid,U: lichung beim Röntgenfernsehen, Fort-
schr.Röntgenstr.105,260-273 (1960)
- 15 Messerschmid,U., Physiologische Grundlagen und tech-
Fuchs,W,A: nische Realisierung der elektroni-
schen Detailverdeutlichung beim Rönt-
genfernsehen,Vortrag auf dem Deutschen
Röntgenkongreß Stuttgart 1969

- 16 Bischoff, K.,
Schott, C: Eine neue Kontrastverstärkungseinrichtung für Röntgenaufnahmen, Fortschr. Röntgenstr. 87, 239 (1957)
- 17 Zieler, E.,
Westerkowsky, K: Das Ampliskop, ein experimentelles Gerät zur Harmonisierung von Röntgenbildern, Philips Techn. Rundschau 24, 194 (1962/63)
- 18 Haendle, J: Röntgenfernseheinrichtung mit einer Vorrichtung zur Verstärkung der Feinkontraste von Durchleuchtungsbildern mit fernsehtechnischen Mitteln, Patentschrift 1224352 (1963)
- 19 Haendle, H.,
Lissner, J.,
Haendle, J: Verbesserung der mammographischen Diagnostik durch fernsehelektronische Manipulation des Röntgenbildes, Vortrag auf dem Deutschen Röntgenkongreß in Stuttgart 1972
- 20 Haendle, J. Beeinflußung der Ortsfrequenzcharakteristik beim Röntgenfernsehen, Vortrag FTG-Tagung Heidelberg 1966
- 21 Arp, F: Experimentelle Untersuchungen zur zweidimensionalen Aperturkorrektur von Fernsehaufnahmeröhren mit einem Vidikonspeicher, Arch. Elektr. Übertr. 20, 205-219 (1966)

- 22 Groh,F., Harmonisierung und Farbsubtraktion
Haendle,J: Elektromedica 3, 73-76 (1968)
- 23 Schneider,M: Einführung in die Physiologie des
Menschen, Springer Verlag 749 (1964)

Mein besonderer Dank für das Zustandekommen dieser Arbeit gilt Herrn Professor Dr. med. J. Lissner, Direktor der Klinik und Poliklinik für Radiologie der Universität München, für die freundliche Überlassung des Themas und Arbeitsplatzes sowie Herrn Dr. med. H. Haendle, der mich jederzeit mit seinem Rat unterstützte.

Lebenslauf

Am 18. Juni 1946 wurde ich, Manfred Wild, als Sohn des Schreinermeisters Ludwig Wild und seiner Ehefrau Herta, geborene Dormann, in Bamberg geboren. Von September 1952 bis 1957 besuchte ich die Volksschule in Ebrach. Im Oktober 1957 zogen meine Eltern nach Bad Tölz um und im folgenden Schuljahr trat ich in das dortige mathematisch naturwissenschaftliche Gymnasium ein. Im Juli 1967 legte ich die Reifeprüfung ab. Am 2. Oktober 1967 wurde ich als Wehrpflichtiger zur Ableistung des Grundwehrdienstes einberufen. Nach zwölfmonatigem Wehrdienst wurde ich am 12. Oktober entlassen und ich nahm am 15. Oktober 1968 das Studium der Medizin an der Universität in München auf. Nach dem Sommersemester 1969 legte ich das Vorphysikum, nach dem Wintersemester 1970/71 das Physikum ab. Das Staatsexamen bestand ich im Sommersemester 1974.

